



Universidade de Brasília – UnB
Instituto de Geociências - IGD
Curso de Especialização em Geoprocessamento

ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE DE MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA EM TRECHO TAV COM USO DE SIG

Marcelo Alves Camilo

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Noris Costa Diniz
Co- Orientadora: Prof^ª. Tatiana Diniz Gonçalves

MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

Brasília
2013

Marcelo Alves Camilo

ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE DE MOVIMENTOS
GRAVITACIONAIS DE MASSA EM TRECHO TAV COM USO DE SIG

Trabalho do Curso de Especialização
apresentado à coordenação de pós-
graduação do curso de geologia da UnB,
como requisito para obtenção do título
de especialista em Geoprocessamento.

Orientador (a): Prof^a. Dra^a. Noris Costa
Diniz.

Co-orientador (a): Prof^a. Tatiana Diniz
Gonçalves

Brasília, _____ de _____ de 2013.

Banca Examinadora

Noris Costa Diniz
Professora Orientadora
Universidade de Brasília

Nome do Examinador
Titulação
Universitário de Brasília

Nome do Examinador
Titulação
Universidade de Brasília

Nota:

RESUMO

A Lei 12.608, de abril de 2012, foi promulgada para fortalecer a política nacional de redução de riscos e resposta a desastres naturais, através da instituição da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC. O texto da lei prevê que as cartas de suscetibilidade, cartas geotécnicas de aptidão urbana e cartas de risco passam a representar instrumentos de prevenção de riscos e gestão municipal. Desta maneira, a cartografia geotécnica no Brasil ganhou extrema importância e cabe à comunidade científica o desenvolvimento e a discussão de técnicas e metodologias de mapeamento geotécnico e de risco que possam ser aplicadas para o planejamento territorial chegando até os planejadores e gestores. A área de estudo localiza-se no trecho do projeto TAV - Brasil, que passa pelos municípios de Cachoeira Paulista-SP e Resende-RJ, na região do Vale do Rio Paraíba do Sul está inserida entre a Serra da Mantiqueira, chegando até aproximadamente 2000m de altitude, e na porção sudeste da área está a Serra da Bocaina. No presente trabalho foi realizada uma avaliação da susceptibilidade de movimentos gravitacionais de massa (MGM), para este trecho do TAV, por meio de imagens orbitais e do modelo digital de terreno (MDT). A partir deles foram gerados mapas de declividade, hipsométrico e outros, dos quais foi obtida a avaliação de susceptibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa para a região de interesse. Assim, a área deste trabalho que possui maior risco de ocorrência de MGM é a região composta pelas Serras da Mantiqueira e Bocaina, além da região denominada de mar de morros, porém elas não atrapalham o traçado neste trecho da ferrovia, devendo ser adotadas medidas para não ocorrerem MGM que possam interferir na atividade desse empreendimento.

Palavras-chave: Movimento Gravitacional de Massa, TAV, Cartografia Geotécnica, Avaliação de riscos.

ABSTRACT

The Act 12.608, April 2012, was enacted to strengthen the national policy for risk reduction and disaster response, through the establishment of the National Civil Protection and Defense. The text of the Law provides that maps of susceptibility, geotechnical maps of urban fitness and risk maps will represent tools for risk prevention and municipal management. Thus, the engineering geological mapping in Brazil gained extreme importance for the scientific community and the development and discussion of techniques and methodologies for mapping and geotechnical risk that can be applied to territorial planning coming to planners and managers. The study area is located in stretch of the TAV - Brazil project, which passes through the municipalities of Cachoeira Paulista-SP and Resende-RJ, in the valley region of the Paraíba do Sul river. It is inserted between the Serra da Mantiqueira, reaching approximately 2000 m altitude and in the southeastern portion of the area is the Serra da Bocaina. In the present work, an assessment of the susceptibility of gravitational mass movements, for this stretch of TAV through satellite images and digital terrain model was performed. From these maps slope, hypsometric and others, including the evaluation of susceptibility to occurrence of gravitational movement of the mass region of interest was obtained. Therefore, the area of this work which has higher risk of MGM is the region composed of the Serra da Mantiqueira and Bocaina, beyond the region called the sea of hills, but they do not disturb the stretch in this part of the railroad, measures should be adopted for the gravitacional mass movement cannot interfere with the activity.

Keywords: Gravitational Mass Movement, TAV, Geotechnical Mapping, Risk Assessment

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de Localização da Área.....	10
Figura 2 Contexto geológico regional da área de estudo.....	11
Figura 3 Perfil geológico – geomorfológico entre Angra dos Reis (RJ) e Itamonte (MG).....	12
Figura 4 Exemplo de queda de rocha.....	15
Figura 5 Tipos de movimentos gravitacionais de massa.....	17
Figura 6 Espectro eletromagnético.....	21
Figura 7 Componentes de um Sistema de Informação Geográfica.....	24
Figura 8 Diferentes representações matriciais.....	25
Figura 9 Elementos de representação vetorial.....	25
Figura 10 Tipos de cartas geotécnicas.....	27
Figura 11 Porção de carta de susceptibilidade de deslizamento de região na Califórnia.....	29
Figura 12 Articulação das folhas na escala 1:20.000 das unidades geológicas-geotécnicas.....	31
Figura 13 Fluxograma Geral de trabalho.....	33
Figura 14 Etapas metodológicas para a cartografia geotécnica proposta por Diniz (1998).....	33
Figura 15 Etapas do trabalho conforme metodologia proposta por Diniz (1998).....	35
Figura 16 Mapa Altimétrico reclassificado.....	36
Figura 17 Mapa Geológico da área de estudo.....	37
Figura 18 Mapa Geológico reclassificado da área de estudo.....	38
Figura 19 Mapa de declividade.....	39
Figura 20 Mapa das principais bacias da região de estudo.....	40
Figura 21 Mapa de suscetibilidade da área de estudo.....	41
Figura 22 Mapa de favorabilidade a instalação do empreendimento.....	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Tipos de movimentos gravitacionais de massa.....	14
Quadro 2 Principais grupos de fatores que influenciam na ocorrência de MGM.....	18
Quadro 3 Fatores condicionantes e desencadeadores e seus efeitos.....	20
Quadro 4 Comparação entre estruturas vetoriais e matriciais para mapas temáticos.....	26
Quadro 5 Escalas de inventários de escorregamentos e de mapas de susceptibilidade, perigo, risco e aplicações.....	30

SIGLAS

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MDE - Modelo Digital de Elevação

MDT - Modelo Digital de Terreno

MGM - Movimentos Gravitacionais de Masa

SIG - Sistema de Informações Geográficas

SR - Sensoriamento Remoto

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

TAV - Trem de Alta Velocidade

SUMÁRIO

1 - Introdução	9
2 - Objetivos.....	10
3 – Área de Estudo.....	10
3.1 – Caracterização da Área.....	11
4 – Revisão Bibliográfica	12
4.1 – Movimento Gravitacional de Massa (MGM).....	12
4.1.1 – Tipos de Movimentos Gravitacionais de Massa	14
4.1.2 – Causas dos Movimentos Gravitacionais de Massa.....	18
4.2 – Sensoriamento Remoto.....	20
4.2.1 – Sensoriamento Remoto e suas características.....	21
4.2.2 - Radar – Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).....	22
4.3 – Sistema de Informação Geográfica – SIG.....	23
4.3.1 – Definição.....	23
4.3.2 – Componentes do SIG.....	24
4.4 – Cartografia Geotécnica de Risco.....	26
4.4.1 – Cartografia Geotécnica no Brasil.....	27
4.4.2 – Cartografia de Risco de MGM.....	28
4.4.3 – Ferramentas da Cartografia Geotécnica.....	29
4.4.4 – Escala das Cartas de Risco.....	30
4.5 – Projeto TAV.....	31
4.5.1 – Traçado TAV.....	31
5 – Materiais e Métodos.....	32
5.1 – Etapa de Inventário.....	33
5.2 – Etapa de Análise.....	34
5.3 – Etapa de Síntese.....	34
6 – Resultados e Discussão.....	35
6.1 – Altimetria.....	35
6.2 – Geologia.....	36
6.3 – Declividade.....	38
6.4 – Bacia Hidrográfica.....	39
6.5 - Mapa de Suscetibilidade e de Favorabilidade.....	40
7 – Conclusão.....	42
8 – Referência Bibliográfica.....	44
9 – Anexos	47

1. Introdução

Com o fortalecimento da política nacional de redução de riscos e resposta a desastres naturais, foi promulgada a Lei 12.608, de abril de 2012, onde as cartas de suscetibilidade, cartas geotécnicas de aptidão urbana e cartas de risco passam a representar instrumentos de prevenção de riscos e gestão municipal, sendo requisitos, dentre outros, à participação no cadastro nacional de municípios com suscetibilidade crítica a desastres, viabilizando o acesso ao fomento para obras de contenção e drenagem, como uma das principais medidas efetivas dessa política pública de prevenção de riscos (DINIZ, 2012).

Desta maneira, o tema de cartografia geotécnica mais do que nunca no Brasil tem elevada importância, cabendo à comunidade científica o desenvolvimento e a discussão de técnicas e metodologias de mapeamento geotécnico e de risco que sejam aplicáveis ao planejamento territorial, auxiliando os planejadores e gestores. Este trabalho aborda temas relativos ao conhecimento geológico – geotécnico e das geotecnologias no planejamento territorial, concernente à prevenção de acidentes relacionados a processos geodinâmicos superficiais.

Quando se trata de áreas de risco no Brasil, estas são principalmente associadas aos movimentos de massa, mais efetivamente aos escorregamentos. Entretanto, deve-se também observar os riscos causados pelas enchentes e erosões, tornando o conceito de risco mais abrangente. Para a avaliação do risco de uma área deve se considerar, além da predisposição natural, as condições da ocupação humana, pois não há razão de se falar em risco onde ela não existe.

As áreas consideradas de risco onde há ocupação humana apresentam um quadro de fragilidade ambiental que é potencializado pela ocupação desordenada, constituindo regiões de maior perigo.

Este trabalho busca fazer a análise de movimentos gravitacionais de massa, através da utilização de imagens aéreas e produtos oriundos destas, tratados em software de Sistema de Informação Geográfica (SIG), com base em trabalhos já desenvolvidos na região de Itatiaia-RJ, como o de Batista (2012) e Pera (2012) da Universidade de Brasília - UnB. E observar se estes movimentos de massa tem a possibilidade de chegarem ao trecho, Cachoeira Paulista (SP) - Resende (RJ), entre as Serras da Mantiqueira e da Bocaina, do Trem de Alta Velocidade (TAV Brasil) possibilitando a escolha do melhor traçado.

2. Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é estudar, por meio de imagens de sensoriamento remoto, processamento digital de imagens, uso de SIG e de operações algébricas entre os mapas temáticos, o perigo de ocorrer movimentos gravitacionais de massa, no trecho Cachoeira Paulista (SP) - Resende (RJ), do Trem de Alta Velocidade (TAV Brasil).

Os objetivos específicos são:

1. Mapear as áreas suscetíveis a movimento gravitacionais de massa;
2. Avaliar a existência de perigo de movimentos gravitacionais de massa que possam prejudicar as operações relativas ao trem de alta velocidade.

3. Área de estudo

A área de estudo está na região do Vale do Rio Paraíba do Sul, limitada a nordeste pelo estado do Rio de Janeiro, a sudoeste pelo estado de São Paulo e a norte pelo estado de Minas Gerais (Figura 1), se localiza no trecho TAV que passa pelos municípios de Cachoeira Paulista - SP até Resende - RJ. A rodovia Presidente Dutra (BR – 116), corta a região sendo ela um importante via para o escoamento de produtos entre as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro.

Ao norte da área de interesse está uma porção da Serra da Mantiqueira e ao sul localiza-se a Serra da Bocaina.

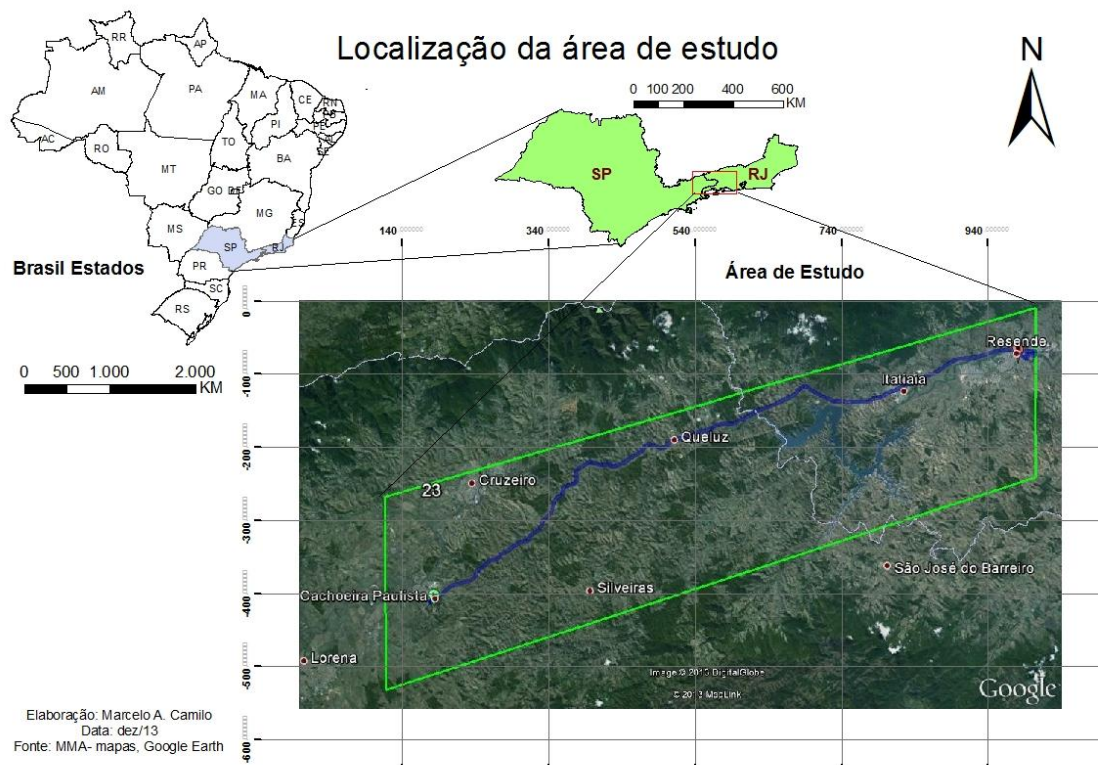


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.

3.1 Caracterização da área

Em relação às condições naturais da área, em relação ao clima é caracterizada como: tropical de altitude de acordo com a classificação climática de Köppen.

No contexto geológico regional da área de estudo, ocorrem rochas metamórficas proterozóicas/arqueanas, que constituem o embasamento cristalino regional (gnaisses, granitos e xistos), rochas alcalinas intrusivas neocretáceas (sienitos), rochas sedimentares terciárias e expressivos depósitos sedimentares quaternários (Figura 2).

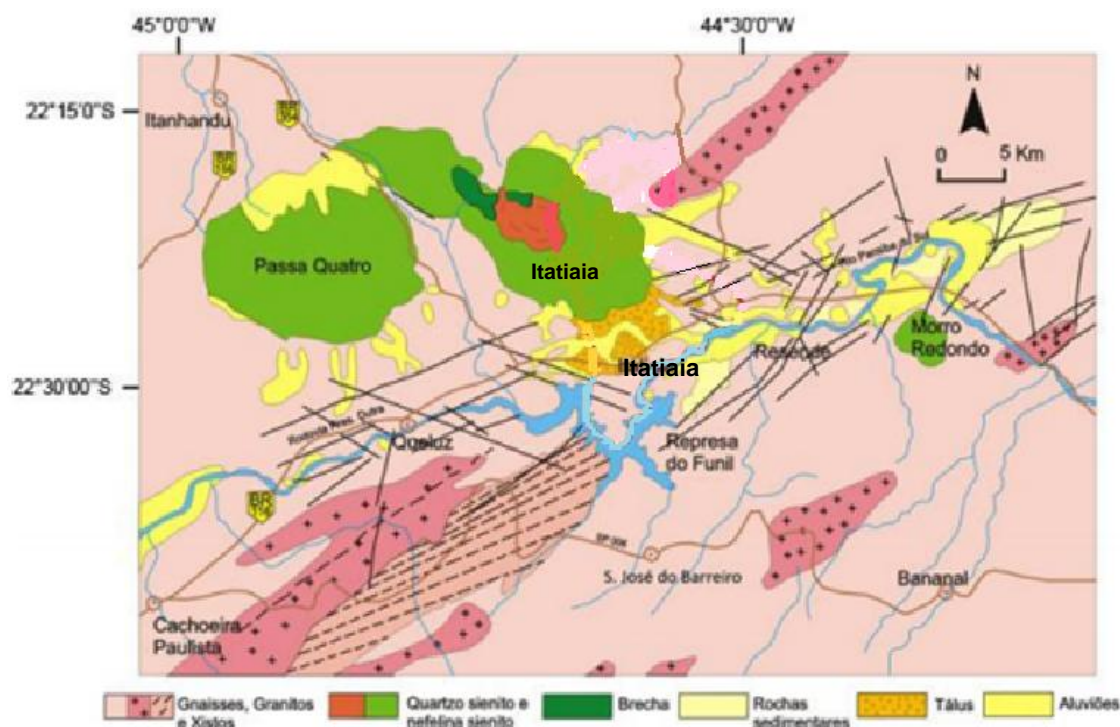


Figura 2: Contexto geológico regional da área de estudo. Fonte: Cordani & Teixeira, 2007.

Quanto à geomorfologia a área é compreendida por um vale entre duas serras, a Serra da Mantiqueira, onde se localiza o Pico do Itatiaia e a Serra da Bocaina que se liga a Serra do Mar. Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT (1981) esta é a topografia mais abrupta da região, conforme mostra o perfil geológico - geomorfológico entre Angra dos Reis - RJ e Itamonte - MG da figura 3, tendo desníveis da ordem de 2000 m do topo da Mantiqueira às planícies do Vale do Rio Paraíba do Sul.



Figura 3: Perfil geológico – geomorfológico entre Angra dos Reis (RJ) e Itamonte (MG). Fonte: Dantas *et al.*, 2008.

4. Revisão Bibliográfica

Prever um deslizamento é extremamente difícil, porém prevenir os resultados provenientes deste tipo de fenômeno é possível.

Conhecer os movimentos de massa da região objeto de estudo é uma etapa importante para o mapeamento de possíveis áreas a serem atingidas, por novos eventos deste tipo. Diversos autores realizaram estudos utilizando o histórico de movimentos de massa antigos e recentes, para mapear áreas suscetíveis aos resultados dos MGM.

As novas tecnologias de sensoriamento remoto (SR) e as ferramentas dos sistemas de informações geográficas (SIG) têm sido bastante utilizadas nestes estudos.

4.1 Movimento Gravitacional de Massa (MGM)

Os processos geológicos e climáticos que atuam na superfície terrestre criam e modificam o relevo e assim definem a morfologia das vertentes. Em geral, as encostas apresentam ângulos naturais de declividade próximos à condição de equilíbrio. Quando as condições ambientais mudam, a morfologia é modificada.

Neste contexto, movimentos gravitacionais de massa podem ser entendidos como ajustes do terreno para restabelecer o equilíbrio em condições de mudança com o deslocamento gravitacional de massas de solo e/ou rocha encosta abaixo (VALLEJO & FERRER, 2011).

Movimentos de massa ocorrem por todo o planeta, sob praticamente todas as condições climáticas e de terreno (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008), e podem envolver diversos materiais e apresentar mecanismos, tamanhos e velocidades muito variados. O conhecimento dos tipos de movimentos, bem como suas classificações e descrições, é de extrema importância para considerar, planejar ou adotar ações apropriadas para diminuir o risco de perdas e danos.

Para facilitar o entendimento das terminologias usadas neste trabalho são listadas abaixo as definições citadas por Corominas *et al.* (2008), obtidas da International Union of Geological Science (IUGS) para alguns termos de maior relevância ao estudo de MGM:

- Deslizamento: movimento de rocha, detrito ou solo descendo por uma encosta;
- Deslizamento ativo: deslizamento que ainda está ocorrendo, podendo ser a primeira ocorrência ou a reativação;
- Deslizamento reativado: deslizamento que retornou a se movimentar depois de desativado;
- Inventário de deslizamento: levantamento de localização, classificação, volume (ou área), atividade, data de ocorrência e outras características possíveis de serem verificadas;
- Suscetibilidade: avaliação qualitativa ou quantitativa da classificação, volume (ou área) e distribuição espacial dos deslizamentos existentes ou daqueles que podem ocorrer. Poderá incluir ainda a velocidade e a intensidade de deslizamento potencial ou ocorrido. Espera-se que os deslizamentos ocorram com maior frequência nas áreas mais suscetíveis. A suscetibilidade inclui deslizamentos que tiveram origem na área avaliada ou que originaram em outra área, mas vieram a afetar a área avaliada;
- Perigo: condições para causar uma consequência indesejável, resultantes de deslizamentos.
- Elemento em risco: população, construções, obras de engenharia, atividades econômicas, serviços de utilidade pública, infraestruturas em geral e valores do meio ambiente com potencialidade para ser afetado por um movimento gravitacional de massa;
- Vulnerabilidade: grau de perda de um elemento ou parte de um elemento afetado por um deslizamento. Adota-se uma escala de 0 (nenhuma perda) a 1 (perda total);
- Risco: medida de probabilidade e severidade de um efeito nocivo a vidas humanas, propriedades e ao meio ambiente, resultado de um movimento gravitacional de massa e;
- Zoneamento: divisão do terreno por regiões homogêneas, classificando cada uma delas quanto ao grau de suscetibilidade a deslizamentos atuais ou potenciais.

4.1.1 Tipos de Movimentos Gravitacionais de Massa

Existem diversos tipos de movimentos de massa, classificados em razão dos tipos de materiais que compõem o solo, seus processos de formação e os diversos fatores que condicionaram a ocorrência deste fenômeno. Os movimentos de massa dependem de pelo menos três fatores, de acordo com Press *et al* (2006) : natureza do material, declividade/estabilidade da encosta e quantidade de água nos materiais. Para Guimarães *et al* (2008), os condicionantes locais dos MGM são: estrutura geológica, tipo de material, declividade, orientação e forma da vertente, área de contribuição, intensidade e distribuição das precipitações.

Os fatores citados por Press *et al* (2006), são entendidos da seguinte maneira: natureza do material pode ser consolidada ou inconsolidada. A declividade/estabilidade da encosta vai contribuir para os materiais caírem, fluírem ou deslizarem e a quantidade de água nos materiais dependerá da porosidade do solo, da quantidade de chuva ou tipo e forma de água, a qual o solo está exposto.

Vários autores desenvolveram classificações de movimentos de massa, as descrições e classificações dos MGM a seguir são baseadas principalmente em Varnes (1978) e Cruden & Varnes (1996).

A classificação de Varnes (1978) se baseia em diversos atributos, sendo os principais: tipo de material, taxa de movimentação. O autor subdivide os movimentos gravitacionais de massa nas classes apresentadas no quadro abaixo.

Quadro 1: Tipos de movimentos gravitacionais de massa.

Tipo de Movimento		Tipo de Material	
		Substrato Rochoso	Solo para engenharia civil
			Grosseiro Fino
Quedas		de rocha	de detritos de terra
Tombamentos		de rocha	de detritos de terra
Deslizamentos	<i>Rotacionais</i>	de rocha	de detritos de terra
	<i>Translacionais</i>		
Espalhamento Lateral		de rocha	de detritos de terra
Escoamentos/Corridas		de rocha (rastejo profundo)	de detritos (rastejo de solo) de terra (rastejo de solo)
Complexos		Combinação de dois ou mais tipos de movimentos	

Fonte: Adaptado de Varnes, D. J. 1978. Slope movement types and processes. In: *Special Report 176: Landslides: Analysis and Control* (Eds: Schuster, R. L. & Krizek, R. J.). Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D. C., 11-33.

As quedas de rochas e os tombamentos tem mecanismos semelhantes de ocorrência, são caracterizados pelo material rochoso que se desprende da encosta e desce ao longo desta, em geral ocorrem em juntas ou fraturas. A diferença notada no tombamento é a rotação do material que foi desprendido (figura 4).



Figura 4: Exemplo de queda de rocha. Fonte: <http://www.estadao.com.br/noticias/impresso.pedra-bloqueia-trecho-da-rio-santos.5380890.html>, acesso 10/10/2013.

Os deslizamentos podem ser rotacionais ou translacionais. O rotacional se caracteriza pelo deslocamento de uma massa de material sob um movimento de rotação em torno de um eixo paralelo a superfície de deslizamento e transversal a encosta, desenhando uma superfície de ruptura côncava e curva onde se dá o movimento rotacional de massa para cima. O mecanismo de ruptura para este tipo de deslizamento está relacionado principalmente à infiltração da água da chuva. No deslizamento translacional uma massa de material se desloca paralelamente a inclinação da encosta, com um plano de ruptura bem definido, separando o material que se deslocou daquele que ficou na posição anterior ao movimento. Este tipo de deslizamento é comum em regiões tropicais, pois a interface solo-rocha, configura uma importante descontinuidade mecânica, está associado a infiltração de água de chuva já que a lubrificação pela água da interface solo-rocha proporcionará o deslocamento do material. Por se tratar de um movimento com geometria de ruptura mais simples do que a do deslizamento rotacional tende a alcançar velocidades maiores em relação ao outro.

Os espalhamentos laterais são relacionadas ao desgaste dos minerais de forma diferenciada na rocha, o que gera vazios e descontinuidades onde podem surgir fissuras nas quais partes da rocha podem se desprender se deslocando lateralmente. Ocorrem em terrenos aplainados ou quase planos.

Os escoamentos/corridas deslocam material em geral a grandes velocidades que estão soltos na superfície como detritos, fragmentos de rocha e matéria orgânica. A maior parte deste tipo de movimento de massa é causado por grandes volumes de precipitação, mas também se dão por movimentos a seco de partículas muito finas de areia e argila, ocorrendo principalmente ao longo de drenagens. Os escoamentos em geral não são movimentos profundos, mas podem ser bastante

extensos e as massas mobilizadas podem alcançar vários quilômetros de distância em relação à área-fonte. Também podem ocorrer em vertentes com baixos gradientes de declividades (às vezes menores do que 10°) (VALLEJO & FERRER, 2011).

As corridas podem ser derivadas de deslizamentos ou podem ser desencadeadas por quedas de rochas. Em conjunto com os deslizamentos, os escoamentos/corridas são os movimentos gravitacionais de massa mais comuns e podem afetar materiais amplamente diversos.

Varnes (1978) subdivide os escoamentos em dois grandes grupos, os quais são diferenciados principalmente pela velocidade de movimentação e quantidade de partículas finas.

a) Escoamentos em substrato rochoso: são movimentos extremamente lentos, no qual o material aparenta estar relativamente parado ou não apresentar deslocamento.

b) Escoamentos em materiais inconsolidados: estes são mais facilmente reconhecidos do que os anteriores, sendo que ocorre um maior movimento relativo entre as massas de solo. Normalmente a superfície de deslizamento é pouco visível, pois o limite entre a massa deslizante e o material local é uma fina superfície de movimento diferencial ou zona de distribuição de tensões.

Escoamentos ou corridas de detritos são movimentos complexos, que incluem fragmentos de rochas, blocos, seixos e grânulos imersos em uma matriz de granulometria fina, que pode ser composta por areias, siltes e argilas. Esses movimentos ocorrem em vertentes cobertas por materiais soltos ou não consolidados e especialmente em áreas sem cobertura vegetal. As declividades variam de 5° a 45° neste tipo de escoamento. As velocidades dos movimentos variam de menos de 1 m/s até 12 – 15 m/s.

Escoamentos ou corridas de terra ocorrem em materiais predominantemente finos e homogêneos e podem atingir velocidades de vários metros por segundo. A perda de coesão é em geral causada pela saturação do material em água.

Quando os escoamentos/corridas tem movimentação mais lenta tem-se o rastejo caracterizado por movimento lento e contínuo, geralmente nas vertentes. Que se tornam perceptível por meio de evidências indiretas nas vertentes com o tempo, como cercas, paredes, postes inclinados e árvores curvadas.

Os principais movimentos de massa são ilustrados na figura 5.

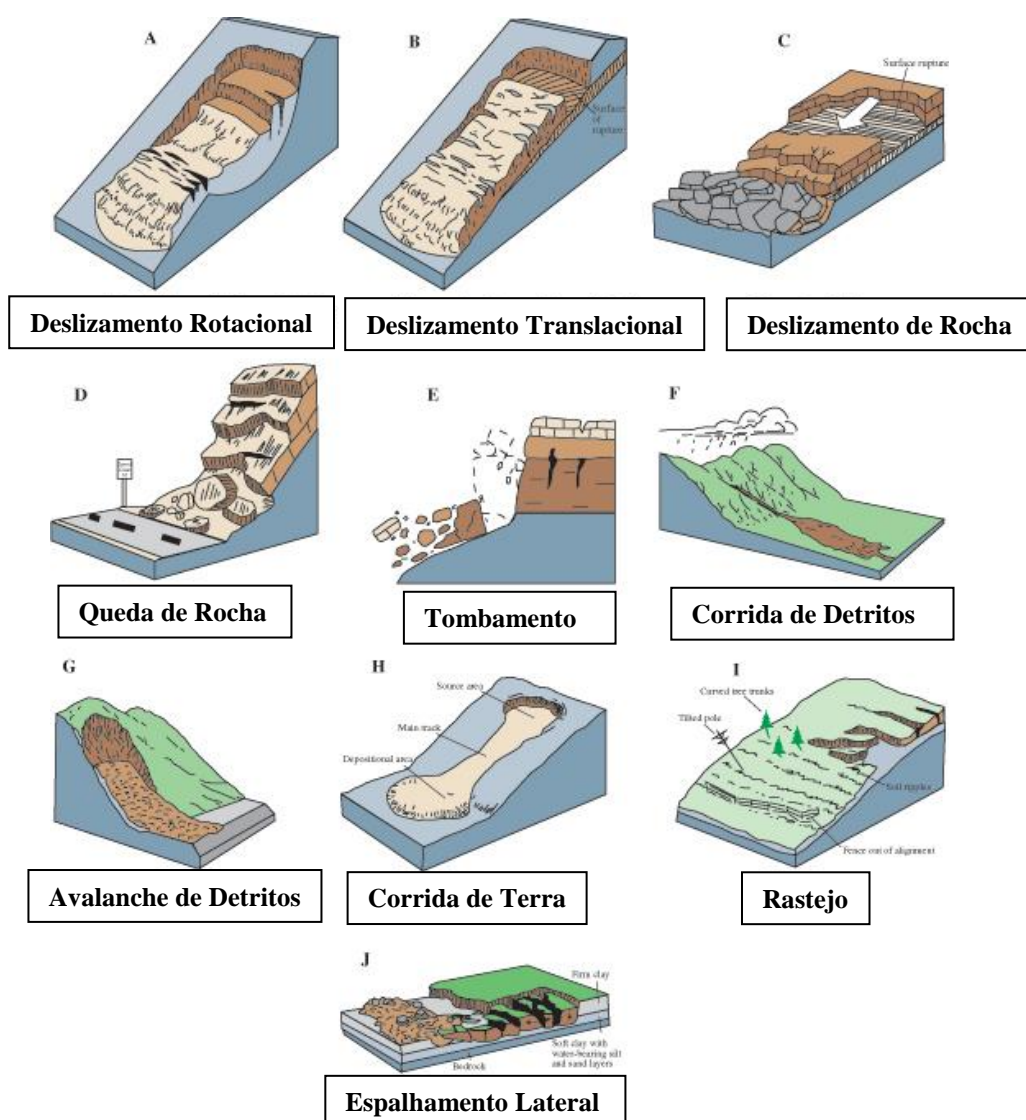


Figura 5: Tipos de movimentos gravitacionais de massa. Fonte: <http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/fs-2004-3072.html> (acessado em 20/09/2013)

4.1.2 Causas dos Movimentos Gravitacionais de Massa

As principais causas de instabilidade de encostas são conhecidas a partir de uma série de estudos de caso específicos. Em uma determinada área, a maior parte dos fatores que influenciam na estabilidade das encostas pode ser reconhecida e os seus efeitos mensurados. Em certos locais, estes fatores podem ser mapeados e correlacionados uns com os outros e com rupturas já ocorridas (AHRENDT, 2005).

Cruden e Varnes (1996) apresentam uma subdivisão dos principais fatores que influenciam na ocorrência dos movimentos de massa (Quadro 2).

Quadro 2: Principais grupos de fatores que influenciam na ocorrência de MGM.

Agentes	
Geológicos	Materiais alterados, intemperizados Materiais cisalhados, fissurados ou fraturados. Contrastes na permeabilidade e na espessura (material espesso e denso sobreposto a materiais plásticos)
Morfológicos	Tectonismo ou vulcanismo Qualquer tipo de erosão Deposição no topo ou na base da encosta
Físicos	Chuva intensa ou excepcionalmente prolongada Degelo repentino Intemperismo por congelamento e degelo, de material expansivo.
Antrópicos	Escavação da encosta ou da sua base Sobrecarga no topo ou na encosta Diminuição do nível dos reservatórios Desmatamento Irrigação Mineração Vibração artificial Vazamentos

Fonte: Cruden & Varnes, 1996.

Os fatores que influenciam na ocorrência dos movimentos gravitacionais de massa podem ser divididos em condicionantes e desencadeadores. Os condicionantes dependem da natureza intrínseca do material e são responsáveis geralmente pelo tipo de movimento. Entre eles estão às características físicas e a resistência do material (relacionadas à litologia e à sua natureza), as características morfológicas e geométricas da encosta, as estruturas geológicas e descontinuidades, as condições hidrogeológicas e o estado de stress na encosta. O relevo participa de maneira fundamental, pois determinado ângulo de declividade, fator necessário para que os movimentos gravitacionais ocorram. Em geral, regiões montanhosas são mais suscetíveis à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa do que regiões mais aplainadas.

Os fatores desencadeadores são externos e provocam ou desencadeiam instabilidades e são responsáveis, no geral, pelo tamanho e pela velocidade dos movimentos. Os mais importantes são: precipitação, mudanças na hidrogeologia da vertente, mudanças na forma da vertente, erosão e terremotos. Alguns deles, como mudanças nas condições hidrogeológicas e na geometria da vertente, podem ser resultado de atividades antrópicas.

O desencadeamento de movimentos de massa por fatores meteorológicos e climáticos é condicionado pelo volume, pela intensidade e pela distribuição das precipitações. Precipitações intensas que duram horas ou dias podem desencadear movimentos como deslizamentos e corridas de lama ou detritos, que afetam materiais intemperizados e solos, e podem causar quedas de blocos de rocha soltos. A ausência de vegetação na encosta, a presença de materiais não consolidados e

processos de instabilidade pré-existentes podem aumentar a capacidade de infiltração e contribuir para a mobilização dos materiais. Durante prolongados períodos de precipitação (semanas ou meses), normalmente há um importante aumento de ocorrências de movimentos gravitacionais em vertentes.

O desencadeamento de novos deslizamentos profundos ou de grandes proporções não tem relação direta com fenômenos meteorológicos sazonais e sim com condições climáticas de longa data, com regimes meteorológicos e condições de umidade capazes de modificar substancialmente a profundidade do lençol freático e a quantidade total de água no solo. Em termos gerais, quanto menos permeável for o material, menor é a influência do regime de precipitação de curto prazo e maior a influência do regime climático e das variações anuais ou condições sazonais.

A ação antrópica é um dos fatores mais importantes que podem modificar as condições e forças que agem em vertentes naturais. As principais causas de instabilidade são mudanças na geometria, declividade, condições hidrogeológicas e a aplicação externa de tensões. Escavações, construção de barragens e reservatórios, carga de prédios, cortes de taludes, preenchimentos, aterros de resíduos em vertentes e atividades explosivas próximas podem modificar os estados de tensão no terreno e suas propriedades geotécnicas e conseqüentemente gerar instabilidades. Em encostas naturais em áreas urbanas, vazamentos de água de reservatórios ou a partir das redes de abastecimento de água e de coleta de efluentes também podem provocar instabilidades.

O quadro 3 abaixo apresenta os principais fatores condicionantes e desencadeadores de movimentos gravitacionais de massa e suas influências e efeitos.

Quadro 3: Fatores condicionantes e desencadeadores e seus efeitos.

Fatores		Influências e efeitos
Condicionantes	Relevo	Distribuição do peso do solo
	Litologia	Peso da unidade, resistência. Comportamento hidrogeológico
	Estruturas geológicas e estado de tensão.	Resistência, deformabilidade Comportamento descontínuo e anisotrópico, zonas de fraqueza.
	Propriedades geomecânicas dos materiais	Comportamento hidrogeológico Geração de poro pressão
	Desmatamentos	Alteração do balanço hidráulico, erosão.
	Intemperismo	Mudanças físicas e químicas, erosão interna e externa, geração de zonas de fraqueza.
Desencadeadores	Precipitação e infiltração	Variações na poro pressão e no peso do solo
	Mudanças nas condições hidrogeológicas	Saturação do solo, erosão.
	Aplicação de cargas dinâmicas ou estáticas	Mudanças na distribuição do peso do material e do estado de tensão Aumento da poro pressão
	Mudanças na morfologia e/ou geometria da vertente	Variação de forças devido ao peso Mudanças no estado de tensão
	Erosão ou escavação na encosta ou em sua base	Mudanças na geometria da vertente Mudanças na distribuição do peso do material e do estado de tensão
	Ações climáticas (degelos, congelamentos, secas).	Mudanças no conteúdo de água no solo Geração de fraturas de tensão e planos de fraqueza. Diminuição da resistência dos materiais

Fonte: Vallejo & Ferrer, 2011.

4.2 Sensoriamento Remoto

Atualmente sensoriamento remoto é definido cientificamente como uma técnica que faz medidas entre a troca de interação energética da radiação eletromagnética com os materiais terrestres. O início se deu por volta da década de 1960 quando os primeiros satélites artificiais começaram a ser lançados e foi possível ver imagens de feições da Terra pela primeira vez do espaço.

As aplicações do sensoriamento remoto são várias. Exemplos de áreas do conhecimento que usam esta técnica são: a geologia, geografia, engenharia, defesa civil, meteorologia, defesa, agricultura, oceanografia, e mais outras tantas. Diversos pesquisadores citam

a importância desta ferramenta no estudo de deslizamentos e mapeamento de áreas de risco. Com o avanço da tecnologia as aplicações do sensoriamento remoto tendem a serem cada vez mais multiplicadas com o uso de novos sensores que trazem informações de diversas faixas espectrais e com diversas resoluções.

4.2.1 Sensoriamento Remoto e suas Características

A definição clássica de sensoriamento remoto é a seguinte: sensoriamento remoto é um conjunto de técnicas relacionadas à aquisição, processamento, análise e interpretação de imagens obtidas de qualquer objeto ou fenômeno da superfície terrestre, sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto. Porém devido à limitação inerente ao homem de observação do espectro eletromagnético (figura 6) os sensores são construídos de maneira que auxiliem na obtenção de maiores informações, para possibilitar ao usuário a observação de fenômenos em diferentes comprimentos de onda.

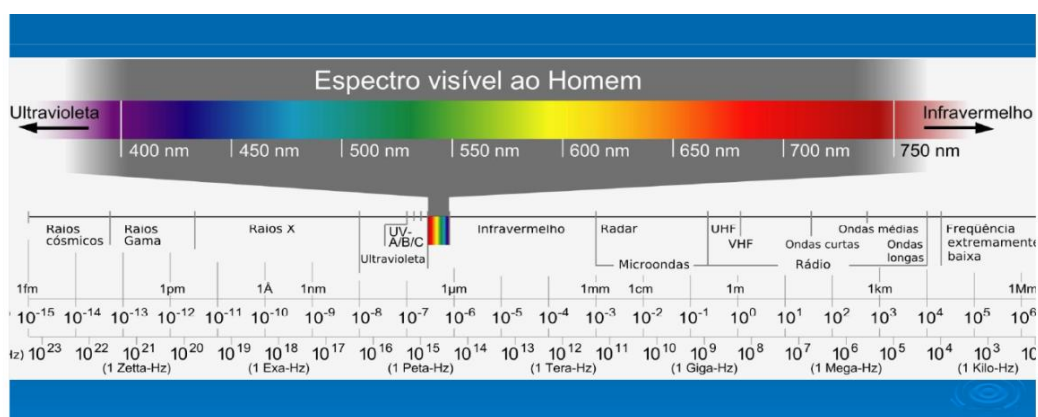


Figura 6: Espectro eletromagnético. Fonte: <http://dc358.4shared.com/doc/0uK-NpBU/preview.html> Acessado em: 10/10/2013

As imagens geradas por cada sensor trazem diferenças na apresentação dos dados em função das próprias características de cada sensor e da interação da radiação eletromagnética com o meio, no qual o alvo está inserido e do próprio sensor, por isso o usuário deve conhecer as peculiaridades das imagens para que possa interpretá-las de maneira correta.

As imagens geradas pelos sensores remotos são classificadas em relação a sua resolução, cada uma delas possui quatro tipos de resoluções que mudam de acordo com a razão para a qual o satélite foi construído. São elas: a resolução espacial, a espectral, a radiométrica e a temporal.

- **Resolução espacial:** Por definição um objeto em uma imagem só é detectado quando o tamanho deste é, no mínimo, igual ou maior do que o tamanho do elemento de resolução no terreno, ou seja, da resolução espacial. O tamanho individual do elemento de área imageada no terreno representa em qualquer tipo de sensor a

resolução espacial. Ela é um importante parâmetro do sensor porque ela determina o tamanho do menor objeto que pode ser identificado em uma imagem.

- **Resolução espectral:** O termo resolução espectral envolve pelo menos três parâmetros de medida:

- i) o número de bandas que o sensor possui;

- ii) a largura em comprimento de onda das bandas;

- iii) as posições que as bandas estão situadas no espectro eletromagnético.

Ou seja, se refere ao tamanho do intervalo de bandas dentro do espectro eletromagnético que sensibilizam o sensor. Comparativamente, um sensor tem melhor resolução espectral se ele possui maior número de bandas situadas em diferentes regiões espectrais e com larguras estreitas de comprimentos de onda.

- **Resolução radiométrica:** A medida da intensidade de energia por pixel unitário na imagem é denominada de resolução radiométrica. Maior será a resolução radiométrica, quanto maior for a capacidade do detector para medir as diferenças de intensidades dos níveis de energia. Quanto maior for essa capacidade, maior será a resolução radiométrica.

- **Resolução temporal:** Refere-se à frequência na qual o sensor vai imagear novamente uma área. Quanto melhor ela for menor o intervalo de tempo entre duas imagens obtidas da mesma área.

4.2.2 Radar – Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)

A faixa do espectro eletromagnético, conhecida como microondas tem se tornado extremamente importante no âmbito do sensoriamento remoto devido a sua alta aplicabilidade em regiões de intensa cobertura vegetal e alto índice de nuvens, pois possuem grandes comprimentos de onda que conseguem ultrapassar as árvores e as moléculas componentes da atmosfera. Além dessas vantagens os sensores que operam nesta faixa podem adquirir dados independentemente da iluminação solar.

Os sistemas de radar são em geral, compostos por um transmissor, um receptor, um modulador, um processador e uma antena. As principais características e propriedades da antena de um sistema de radar são: polarização, diagrama de radiação, largura de feixe, lóbulos laterais, diretividade, ganho, impedância de entrada, área de recepção e reciprocidade.

Esta tecnologia foi utilizada pela missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) realizada pelo ônibus espacial Space Shuttle Endeavour em fevereiro de 2000, tendo em vista a obtenção de modelos digitais de elevação (MDE) da Terra. O SRTM trata-se de um modelo digital de terreno originado a partir de dados de radar, sendo um produto de interferometria, que consiste em obter duas imagens da mesma área, a partir de dois pontos de visada distintos. São as pequenas

variações nas duas imagens, que permitem gerar um modelo de elevação. Este modelo de elevação é amplamente usado para obtenção de informações do terreno, através de sistemas de informações geográficas, as quais serão utilizadas na construção de mapas temáticos, inclusive de risco geológico-geotécnico.

4.3 Sistema de Informação Geográfica - SIG

O posicionamento acertado de dados espaciais em bases cartográficas permite a tomada de boas decisões baseadas neles. Um exemplo é a correta localização de um aeroporto em uma carta de navegação para proporcionar um correto planejamento de voo para que o tempo de viagem possa ser corretamente calculado com o auxílio também de outras variáveis.

Dados de natureza espacial podem ser integrados cada um trazendo o parâmetro necessário para que com outras informações gerem resultados importantes para auxiliar nas decisões a serem tomadas. Essa integração ocorre dentro de um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

4.3.1 Definição

Para entender um SIG é preciso que dois conceitos básicos estejam bem entendidos são eles: o espaço geográfico e a informação espacial. O espaço geográfico corresponde a localização na superfície terrestre onde acontecem os fenômenos a serem analisados. A informação espacial são atributos do espaço geográfico que são interessantes para a análise. Nem sempre todas essas informações estão presentes em apenas um documento sendo necessário a sua integração, o que incentivou o surgimento de ferramentas que auxiliassem neste processo culminando com os SIGs.

O Comitê Federal de Cooperação Interagências dos Estados Unidos define SIG como um sistema de hardware, software e procedimentos, projetado para o apoio a captura, gerenciamento, manipulação, análise e apresentação de dados, referenciados espacialmente para a solução de problemas complexos de planejamento e gerenciamento.

Silva (1999) detalha ainda que é necessário um meio digital para o SIG, tornando o uso de informática imprescindível. Ele deve ainda conter uma base de dados, georreferenciada com controle de erros, integrada, além de ferramentas para a análise e manipulação destes dados desde álgebra cumulativa (adição, subtração, multiplicação, divisão etc.) até álgebra não cumulativa (operações lógicas = e, ou, etc.). O SIG pode ser utilizado por diversas áreas do conhecimento desde aquelas que trabalham muito com informações espaciais como geologia até medicina para a análise da distribuição dos focos de uma determinada doença.

4.3.2 Componentes do SIG

A estrutura geral que compõe um SIG é: interface com o usuário, entrada e integração dos dados, consulta e manipulação, saída de dados e sistema de gerenciamento dos dados, conforme a figura 7.

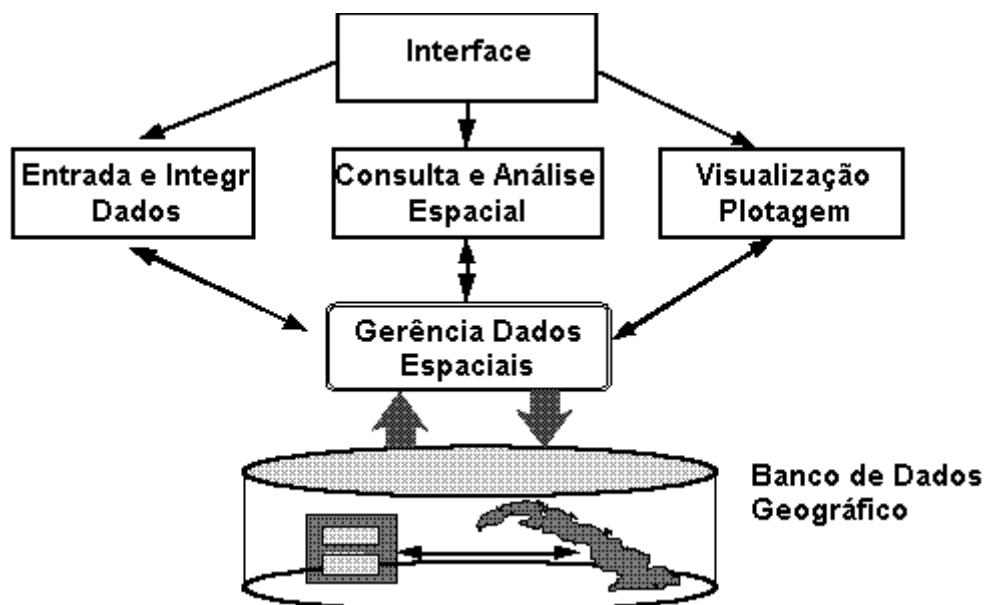


Figura 7: Componentes de um Sistema de Informação Geográfica. Fonte: INPE, 2007 adaptado de Câmara, 1997.

A interação do programa de SIG com o usuário dá-se em geral por meio de uma interface gráfica, que pode apresentar opções de linhas de comando. Na qual é possível visualizar os dados por meio de consultas ao banco de dados do sistema, sendo possível ainda o seu gerenciamento, além da busca por informações quanto à natureza deles.

A natureza dos dados é um fator que pode dificultar a integração das informações, porém no SIG é possível a conexão de dados em diferentes formatos para a geração de informação. Exemplos desta diversidade são os dados ambientais como clima, vegetação, rede hidrográfica e outros. O comportamento de alguns destes fenômenos apresentam de forma contínua no espaço, como clima e outros tem variação discreta como as redes hidrográficas. Porém, dependendo da escala, os dados podem ser discretos ou contínuos. Informações que podem ser descritas em forma de mapas.

Uma destas capacidades do SIG é a de gerenciar dados em formato matricial (raster) e vetorial, tais tipos de dados são os mais utilizados para informações geográficas. Conforme INPE (2007), o formato matricial (raster) corresponde a representação do espaço como uma matriz $P(m,n)$ composta por m colunas e n linhas, onde cada célula possui um número de linha, um de coluna e um valor correspondente ao atributo estudado. No formato vetorial a localização e o aspecto gráfico de cada objeto são representados por um ou mais pares de coordenadas, no qual as

sua representação pode ser feita por meio de três elementos gráficos, o nó ou ponto, linha e polígono. A figura 8 mostra a representação matricial e a 9 a vetorial.

Para que a integração destes dados de diversas naturezas seja feito da maneira correta é preciso que eles estejam padronizados dentro das variáveis cartográficas adotadas para a estruturação deles dentro do banco de dados do sistema.

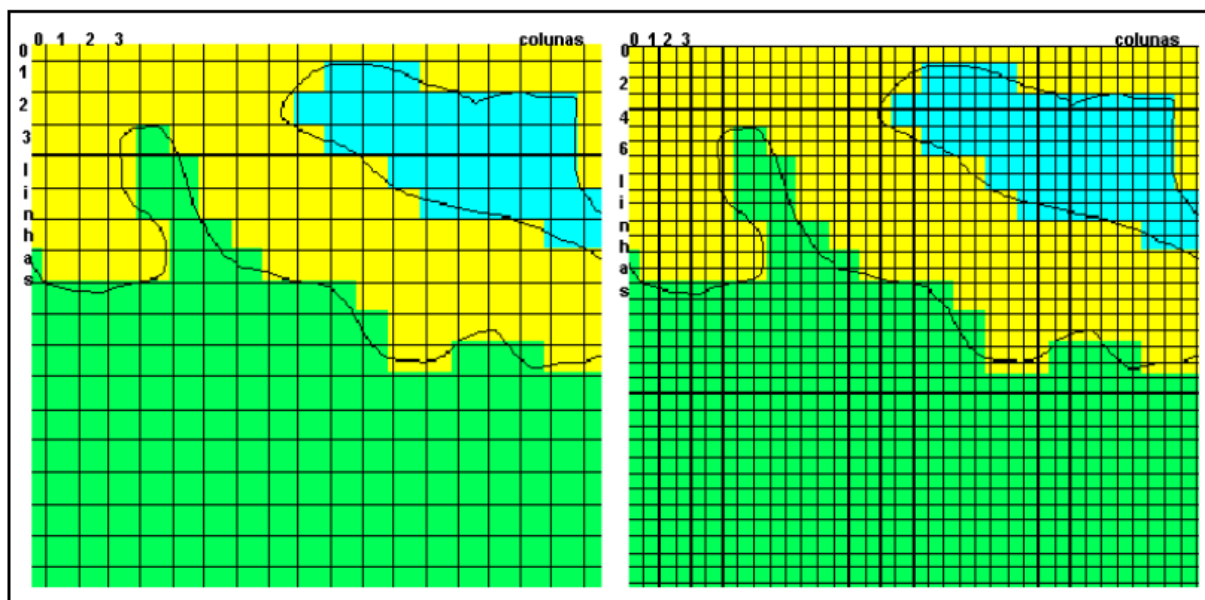


Figura 8: Diferentes representações matriciais. Fonte: INPE, 2007.

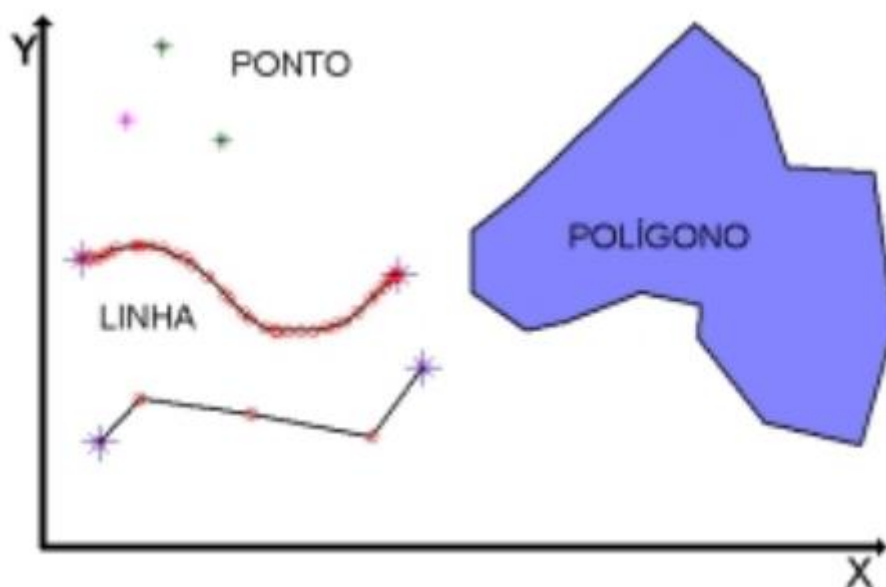


Figura 9: Elementos de representação vetorial. Fonte: INPE, 2007.

Para a representação de mapas temáticos, é possível observar vantagens e desvantagens de cada formato conforme descreve INPE (2007), no quadro abaixo.

Quadro 4: Comparação entre estruturas vetoriais e matriciais para mapas temáticos. Fonte: INPE, 2007.

Aspecto	Vetorial	Matricial
Armazenamento	Por coordenadas (mais eficientes)	Requer mais espaço de armazenamento
Algoritmos	Problemas com erros geométricos	Processamento mais rápido e eficiente
Escalas de trabalho	Adequado tanto a grandes quanto a pequenas escalas	Mais adequado para pequenas escalas (1:25.000 e menores)
Análise, simulação e modelagem.	Representação indireta de fenômenos contínuos Álgebra de mapas é limitada	Representa melhor fenômenos com variação contínua no espaço Simulação e modelagem mais fáceis
Relações espaciais entre objetos	Relacionamento topológico entre objetos disponível	Relacionamentos espaciais devem ser inferidos
Ligação com banco de dados	Facilita associar atributos a elementos gráficos	Associa atributos apenas a classes do mapa

Associados aos dados matriciais ou vetoriais estão os atributos alfanuméricos (DINIZ, 1998) presentes na forma de tabelas nos SIGs. Estes elementos compõem o banco de dados geográficos.

4.4 Cartografia Geotécnica de Risco

A cartografia geotécnica pode ser considerada como a técnica de integração, síntese e representação de informações temáticas da área de geologia de engenharia voltada para a execução de obras e para o planejamento e gestão territorial (DINIZ, 2012). As cartas geotécnicas sintetizam o conhecimento sobre o meio físico e seus processos atuantes em determinada região, de modo a subsidiar o estabelecimento de medidas para o adequado uso e ocupação do solo.

O meio físico condiciona, as características dos meio biótico e socioeconômico, os quais influenciam o meio físico, alterando seus processos naturais. Dos condicionantes do meio físico e pelas alterações causadas pelo homem, extraem-se os atributos a serem considerados na elaboração das cartas geotécnicas.

A partir dos problemas resultados pela alteração do meio, como impactos ambientais e conflitos de uso, determina-se a finalidade e a escala da carta geotécnica. As cartas geotécnicas podem ser classificadas em três tipos gerais de acordo com sua finalidade de aplicação: de

ordenamento territorial, de avaliação de processos do meio físico e de estudos de implantação de empreendimentos (DINIZ, 1998) (Figura 10).

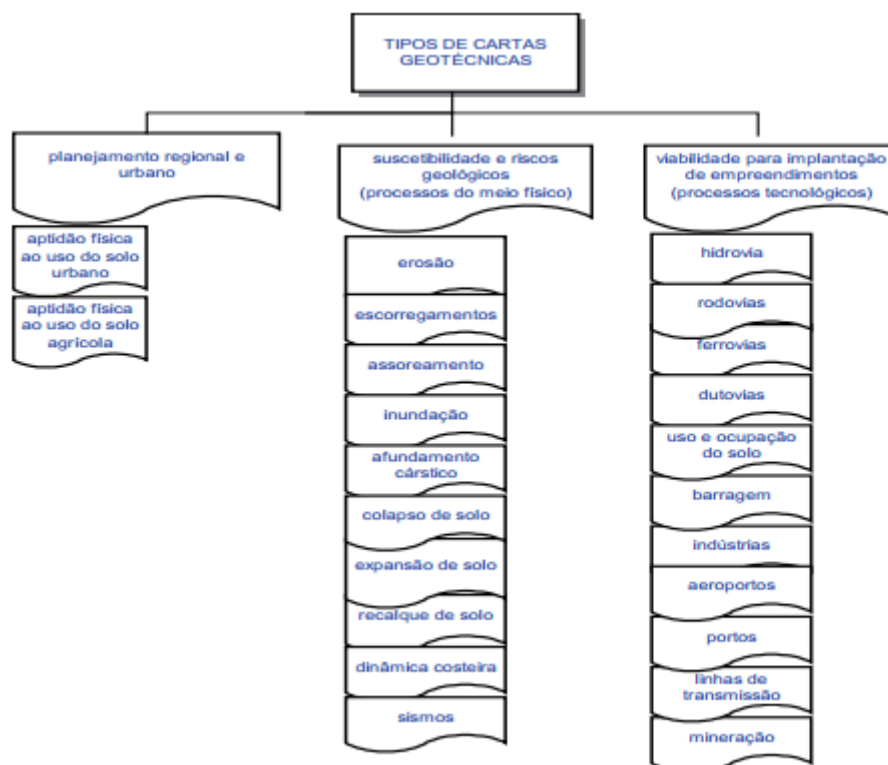


Figura 10: Tipos de cartas geotécnicas. Fonte: Noris, 1998.

4.4.1 Cartografia Geotécnica no Brasil

A elaboração de trabalhos de cartografia geotécnica no Brasil teve início nos anos de 1965-1966 com o professor Haberlechner, da UFRJ. No 20º Congresso Brasileiro de Geologia, em um trabalho publicado, no qual ele discute os princípios da cartografia geotécnica (HABERLEHNER, 1966). Nos anos 1970, se seguiram publicações de cartas geotécnicas e trabalhos discutindo metodologias e áreas de aplicação voltadas para o planejamento de ocupação dos terrenos. Como nas publicações de PRANDINI (1976) e PRANDINI et al. (1979a, 1979b).

A partir da década de 1980, diversas universidades e instituições públicas de pesquisa iniciaram o desenvolvimento do estudo da Cartografia Geotécnica. Neste contexto, destacam-se o IPT e o Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo (USP). Na Escola de Engenharia de São Carlos, o trabalho de Zuquette (1987) se destaca. O autor propõe uma metodologia de mapeamento geotécnico para as condições brasileiras, que se tornou um marco para a evolução da cartografia geotécnica nacional.

Atualmente, a cartografia geotécnica tem ganhado reconhecimento como ferramenta de planejamento territorial, especialmente no tocante à prevenção de desastres naturais. O Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais (PNPDEC), lançado no dia 8 de

agosto de 2012, institui investimentos do Governo Federal brasileiro em ações articuladas de prevenção e redução do tempo de resposta a ocorrências.

No âmbito do PNPDEC, o governo vem investindo no mapeamento de áreas de risco de deslizamentos e enxurradas em municípios com histórico de danos causados por desastres envolvendo deslizamentos, enxurradas e inundações. Além disso, o Governo Federal está realizando a elaboração de cartas geotécnicas de aptidão urbana, que permitirão o estabelecimento de diretrizes urbanísticas para o projeto de novos loteamentos em alguns desses municípios.

4.4.2 Cartografia de Risco de MGM

Segundo Varnes (1984), risco está diretamente ligado a um elemento em perigo que apresente certa vulnerabilidade. Três fatores configuram uma situação de risco; a vulnerabilidade, o elemento e o perigo associado a ele.

O risco de acontecerem movimentos de massa, inundações ou outros fenômenos naturais que possam gerar prejuízos, danos a pessoas e bens ou ainda a interrupção de atividades econômicas foi definido pelo autor como Risco total (R_t), que é dado o produto entre Perigo (H), Vulnerabilidade (V) e Elemento em risco (E), onde:

- “ H ” significa qualquer evento que possa causar danos, tanto materiais como de vidas;
- “ V ” seria definido como grau de perda ou dano causado a um elemento ou conjunto de elementos e;
- “ E ” significa pessoas, bens e propriedades em risco.

A definição atual de risco também considera a probabilidade de ocorrência do evento (JTC-1, 2008).

Em 2008, o JTC1 - Comitê Técnico de Deslizamentos e Encostas Artificiais das Associações Internacionais ISSMGE (Associação Internacional de Mecânica dos solos e engenharia Geotécnica), IAEG (Associação Internacional de Geologia de Engenharia e Ambiental) e ISRM (Associação Internacional de Mecânica das Rochas) publicou um "Manual para o zoneamento de suscetibilidade, perigo e risco de deslizamentos para o planejamento do uso do solo", com o objetivo de atender à necessidade de uma terminologia padrão para o zoneamento de suscetibilidade, perigo e risco para que em qualquer área ele possa ser comparado a zonas de áreas adjacentes e para assegurar que as premissas básicas sejam avaliadas, consideradas e aplicadas, no gerenciamento de áreas propensas a deslizamentos. A figura 11 apresenta um trecho de uma carta de suscetibilidade de deslizamentos de Varnes (1984) elaborada para uma área na Califórnia (EUA).

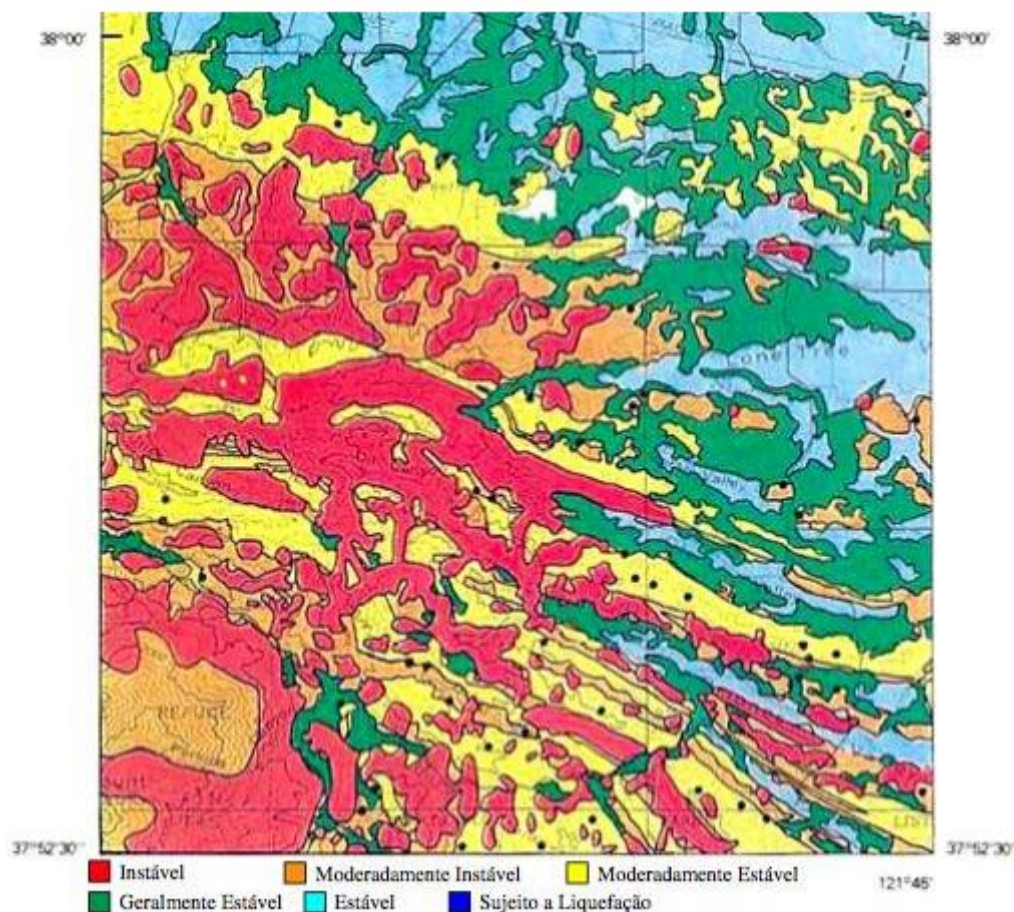


Figura 11: Porção de carta de susceptibilidade de deslizamento de região na Califórnia. Fonte: Varnes, 1984.

4.4.3 Ferramentas da Cartografia Geotécnica

Atualmente existem diversas ferramentas que auxiliam na elaboração de cartas de risco entre elas estão principalmente os sistemas de informação geográfica (SIGs), utilizados não só para este tipo de abordagem, mas na cartografia de maneira geral. Neste sistema, é possível que as variáveis de interesse da área estudada sejam representadas em forma de mapa; as quais ao se superporem são gerados novas informações passíveis de serem interpretadas e analisadas.

Outra ferramenta que a cada dia faz mais parte da cartografia de risco são as imagens orbitais, devido ao custo ser baixo ou nenhum, e pela possibilidade da visão sinótica da região de interesse. A fotografia aérea, que havia se tornado menos utilizada devido às imagens orbitais, voltou a ser mais utilizada com o aparecimento das câmeras aéreas digitais, que proporcionaram maior precisão no posicionamento da aeronave, com sistemas eletrônicos acoplados aos equipamentos de auxílio a navegação, e com sensores e lentes que proporcionam resoluções espaciais da ordem de poucos centímetros (MENDONÇA, 2012).

Portanto pode-se observar que o uso de ferramentas de SIGs, sensoriamento remoto e a realização de fotointerpretação são constantes, o que é um indicativo de que atualmente este tipo

de análise são procedimentos básicos para a realização de trabalhos na área de cartografia geotécnica.

4.4.4 Escala das Cartas de Risco

As escalas das cartas de risco são definidas, de maneira geral, em função dos detalhes que se deseja mostrar no documento. Zuquette e Gandolfi (2004) relatam que as escalas para cartas geotécnicas devem ser maiores que 1:100.000, uma vez que as tomadas de decisão ficariam prejudicadas em escalas menores.

O quadro 5 mostra as escalas de inventários de escorregamentos e de mapas de suscetibilidade, perigo e risco e para quais finalidades de aplicação são indicadas. A escala deve ser selecionada levando-se em consideração os objetivos do mapa. Embora na prática, a escala do mapeamento fica sujeita a escala dos seus produtos topográficos disponíveis.

Quadro 5: Escalas de inventários de escorregamentos e de mapas de susceptibilidade, perigo, risco e aplicações.

Descrição da Escala	Variação Indicativa da Escala	Exemplos de Aplicação do Zoneamento	Área Típica de Zoneamento
Regional	1:100.000 a 1:50.000	Inventários de deslizamentos e suscetibilidade para informar tomadores de decisões e público em geral	>10.000km ²
Intermediária	1:50.000 a 1:25.000	Inventário de deslizamento e zoneamento de suscetibilidade para construções regionais, ou projetos de engenharia de grande porte. Mapeamento de perigo de nível preliminar para áreas locais	1.000 a 10.000 km ²
Detalhe	1:25.000 a 1:5.000	Inventário de deslizamentos, zoneamento de perigo e suscetibilidade para áreas locais, zoneamento de perigo de nível intermediário a avançado para obras de desenvolvimento regional. Zoneamento de risco de nível preliminar a intermediário para áreas locais e estágios avançados de planejamento de projetos de engenharia de grande porte, como estradas e ferrovias.	10 a 1.000km ²
Local	>1:5.000	Zoneamento de perigo e risco de nível intermediário e avançado para áreas locais e sítios específicos e para a fase de design da construção de estruturas de grande porte, estradas e ferrovias.	Muitos hectares ou dezenas de quilômetros quadrados

Fonte: Modificado de JTC-1, 2008.

4.5 Projeto TAV

O Trem de Alta Velocidade (TAV) é um serviço de transporte ferroviário de passageiros que irá ligar as cidades do Rio de Janeiro, São Paulo e Campinas, totalizando aproximadamente 500 km de extensão. Este projeto representa um novo marco tecnológico para o Brasil ao inaugurar um sistema de transporte que irá oferecer aos passageiros, a preços competitivos, qualidade, conforto, segurança e rapidez nas viagens. O projeto vai reduzir a pressão exercida pelo crescente deslocamento de passageiros nas rodovias e aeroportos que compõem o eixo destas cidades.

A implantação de uma ferrovia, assim como de uma estrada, implica em diversas interações com o terreno. Exemplos são cortes e aterros, busca por jazidas de materiais próximas entre outros. Portanto o conhecimento da geologia e geomorfologia do terreno são conhecimentos de extrema importância na implantação de uma estrada de ferro, para a redução dos riscos. Por isso, por meio da Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM) foram feitos diversos estudos geológicos-geotécnicos para a consolidação do projeto TAV, de forma que os riscos sejam diminuídos quando da implantação e operação do projeto.

Nos estudos desenvolvidos pela CPRM foram observados no traçado do TAV, vários terrenos suscetíveis a MGM, que durante as obras devido às mudanças provocadas pela ação antrópica podem resultar em desastres. Durante a implantação do TAV, se realizaram cortes e aterros nestas porções, os quais podem originar movimentos de rastejo que podem evoluir pra movimentos mais rápidos com o acúmulo das chuvas, por isso a importância de se conhecer o comportamento da superfície dessas áreas.

4.5.1 Traçado do TAV

O traçado do TAV foi proposto pelo consórcio Halcrow e Sinergia, mapeado pela CPRM, no total de 45 folhas na escala de 1:20.000 (figura 12).

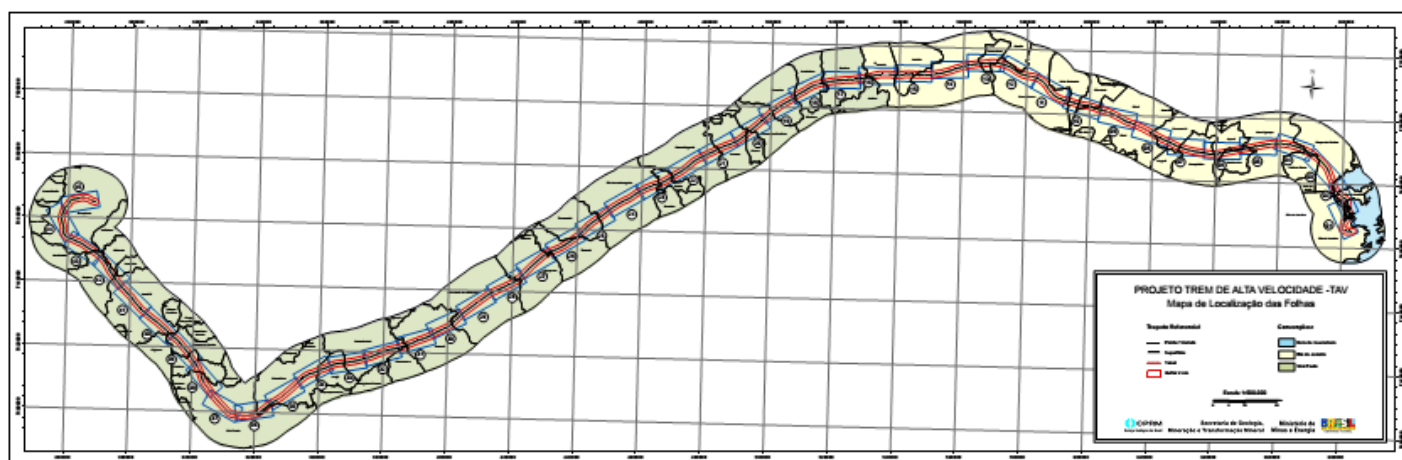


Figura 12: Articulação das folhas na escala 1:20.000 das unidades geológicas-geotécnicas. Fonte: CPRM, 2009.

O estudo da CPRM teve como objetivo o levantamento de dados referentes a caracterização geológica-geotécnica dos terreno por onde o traçado do TAV vai passar. As características foram levantadas dentro de uma faixa de 2 km de largura sendo 1 km para cada lado do eixo do traçado.

A metodologia usada foi composta das seguintes etapas: levantamento de dados, geoprocessamento, mapa de domínios geológico-geotécnicos, mapa de unidades geotécnicas na escala de 1:10.000, investigações geotécnicas, levantamento de dados geológicos estruturais e geração de dados em ambiente SIG.

5. Materiais e Métodos

A metodologia do trabalho seguiu uma sequência de etapas e procedimentos que serão descritos neste capítulo. Na figura 13 são observadas as etapas realizadas durante todo o trabalho. O fluxo metodológico em que foi baseada a metodologia deste trabalho é o proposto para cartografia geotécnica por Diniz (1998) (figura 14), o qual consiste em três etapas básicas: etapa de inventário, etapa de análise e etapa de síntese (figura 15).

A título de revisão bibliográfica foi realizada a leitura de artigos, livros e dissertações relacionados ao tema do trabalho. Conjuntamente, elaborou-se o levantamento dos dados por meio de bancos de dados disponíveis em sites de órgãos públicos de âmbito nacional e estadual.

Os mapas temáticos: geológico, de declividade, altimétrico, hidrográfico, foram devidamente organizados seguindo procedimentos comuns e elaborados durante as diferentes etapas de análise. Com este material, foi feita a compilação dos dados para estruturar e fundamentar a análise das informações pertinentes aos objetivos do trabalho.

Os dados espaciais são fundamentais para o entendimento da dinâmica do meio estudado. Este conjunto de informações de forma individual ou coletiva, e a informação geográfica, contribuem para formar e elaborar propostas de modelagem de dados.

Para organização das informações das cartas temáticas utilizou-se o recorte da área a partir da imagem SRTM obtida do site da Embrapa. Com este recorte a imagem de MDT do Topodata, adquirida do site do INPE, foi georreferenciada. Com isso foi possível realizar o tratamento e interpretação dos mapas temáticos.

As imagens orbitais do sensor Landsat 7 Etm+, com resolução espacial de 30 m, foram utilizadas para delimitar a área de estudo por meio do software Envi 4.8 e recortá-la posteriormente. A imagem também foi usada para validar o georreferenciamento por meio de sobreposição de imagens.

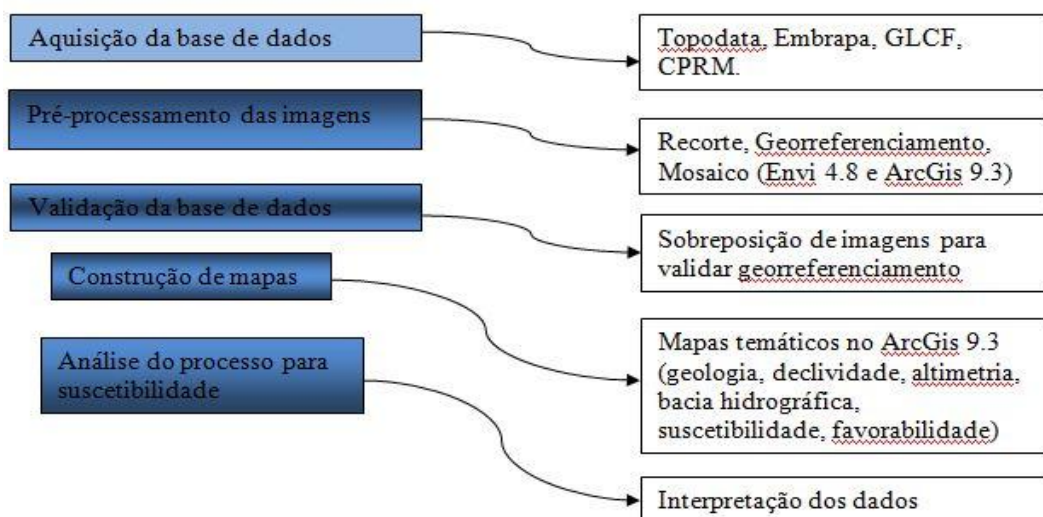


Figura 13: Fluxograma Geral de trabalho.

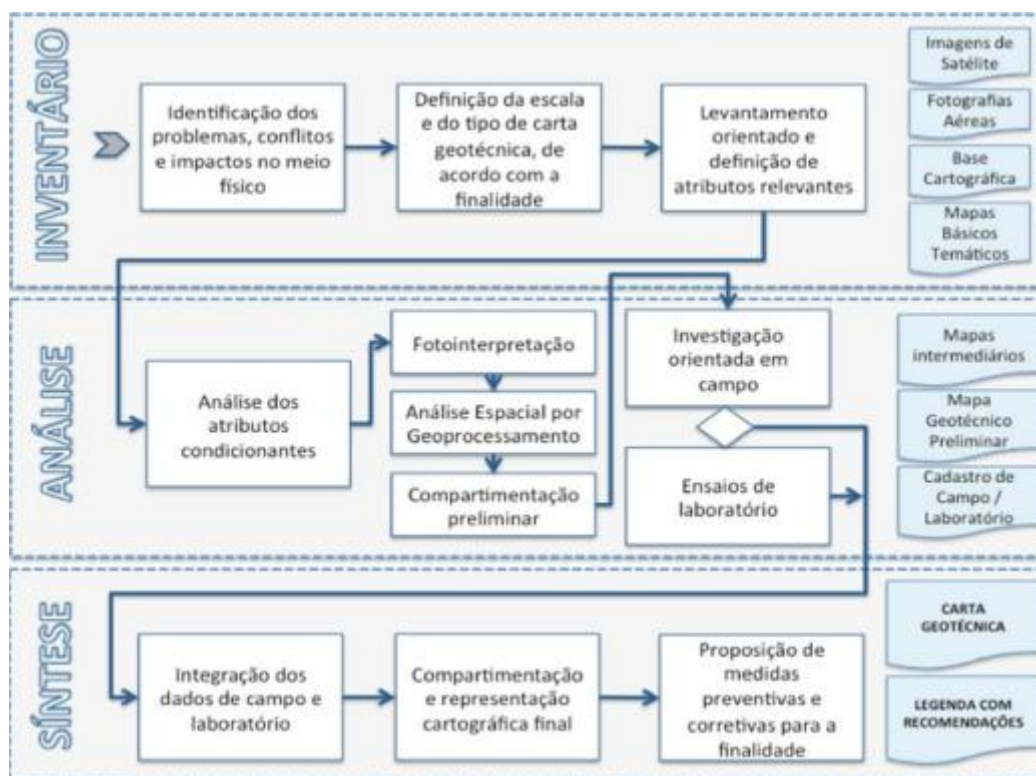


Figura 14: Etapas metodológicas para a cartografia geotécnica proposta por Diniz (1998).

5.1 Etapa de Inventário

Nesta etapa foi realizado o levantamento bibliográfico e a compilação de imagens digitais da área de estudo. O levantamento bibliográfico se deu por meio da leitura de artigos relativos à geotecnia, além da leitura de dissertações e revistas. As imagens foram obtidas da internet por meio dos seguintes endereços eletrônicos: <http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/>

(imagens Landsat 7 ETM+), <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/> (imagens SRTM), <http://www.dsr.inpe.br/topodata/> (imagens referentes ao modelo digital de terreno).

5.2 Etapa de Análise

Na etapa de análise foi realizado o geoprocessamento dos dados, composto por uma primeira fase de georreferenciamento utilizando o software ArcGis 9.3, com a ferramenta *define projection* na caixa chamada *Data Management Tools*, dentro do *Arctoolbox*. A segunda fase foi composta pelo recorte da área de interesse por meio do programa Envi 4.8, com o uso da ferramenta *resize data>spatial subset>map*, com base na imagem georreferenciada anteriormente.

Para o processamento do modelo digital de terreno (MDT), também foi realizado o georreferenciamento (ArcGis 9.3) e o recorte da área de interesse (Envi 4.8), da mesma forma que para as imagens orbitais. A partir desse modelo digital foram gerados os mapas de declividade e de altimetria montados através da ferramenta *Spatial Analyst*, mais especificamente no item *Surface*. Já as bacias hidrográficas delimitadas para a área foram produzidas pela ferramenta *Hidrology*, presente na extensão *Spatial Analyst*. Ressalta-se que todas as ferramentas acima podem ser encontradas no *Arctollbox*.

O mapa geológico foi obtido do *Geobank* da CPRM, disponível em seu site. O sistema de coordenadas usado neste trabalho, para as referidas imagens, é a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) e o datum é o WGS-84.

5.3 Etapa de Síntese

Na etapa de síntese foi gerado o mapa de Suscetibilidade e realizadas as avaliações de perigo.

Para gerar esse mapa de suscetibilidade foram utilizados os produtos oriundos da etapa de análise. A metodologia utilizada neste trabalho não usa o inventário de cicatrizes nem a compartimentação em unidades de terreno, que são comuns em trabalhos desta natureza, mas, de forma similar, utiliza o mapa geológico e de bacias hidrográficas para a construção do mapa de suscetibilidade.

A suscetibilidade foi calculada por meio de uma operação algébrica, através da ferramenta disponível no *Arctoolbox*, chamada *Raster Calculator*, na qual os mapas obtidos na etapa de análise receberam um peso referente à sua maior ou menor influência na geração de MGM. O resultado desta operação foi outro mapa, o qual foi reclassificado, para melhor visualização das áreas suscetíveis a ocorrência de MGM. Na fórmula, a declividade teve maior peso, seguida da altitude por serem os fatores que mais influenciam na ocorrência deste tipo de movimento. Estes procedimentos foram realizados com o uso do material disponibilizado durante as aulas do curso de especialização.

A partir do mapa de suscetibilidade foi feito o mapa de favorabilidade, onde é possível visualizar as áreas mais favoráveis à construção da ferrovia e, também, àquelas que, devido a maior suscetibilidade de ocorrer MGM, não são favoráveis.

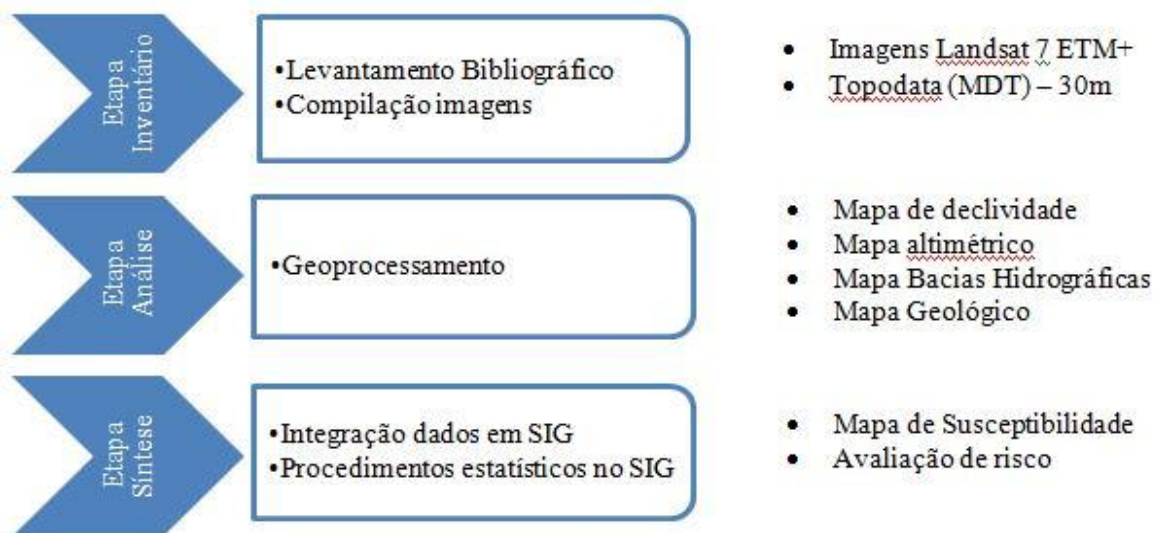


Figura 15: Etapas do trabalho conforme metodologia proposta por Diniz (1998).

6. Resultados e Discussão

Foram observadas informações importantes para a geração de documentos que indicam risco de MGM na região a ser cortada para implantação da ferrovia. Análises geoespaciais com aplicação de ferramentas de SIG e SR foram utilizadas para chegar aos resultados pretendidos nos objetivos.

6.1 Altimetria

O mapa altimétrico foi usado para dividir o terreno conforme seus diferentes níveis de altitude, obedecendo aos seguintes intervalos:

- 400 a 600m
- 600 a 900m
- 900 a 1500m
- 1500 a 2700m

Estes intervalos foram definidos através da reclassificação do MDT oriundo da base de dados do Topodata, obtida na etapa de inventário. A ferramenta utilizada foi a *Spatial Analyst>Reclass> Reclassify*, resultando no mapa da figura abaixo.

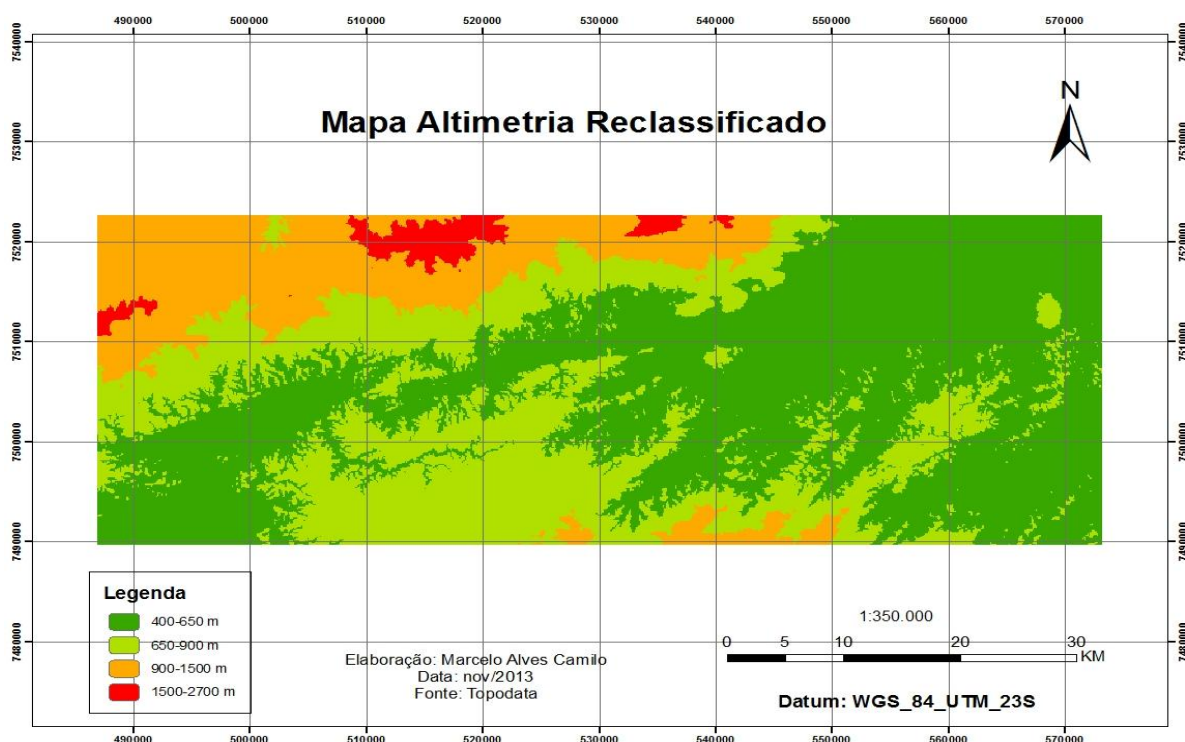


Figura 16: Mapa Altimétrico reclassificado.

As altitudes mais elevadas coincidem com as Serra da Mantiqueira, ao noroeste da área, e com a Serra da Bocaina a sudeste, enquanto que as menores altitudes estão na área correspondente ao Vale do Rio Paraíba do Sul.

6.2 Geologia

A geologia da região é composta por uma grande diversidade de materiais, o que torna o comportamento do terreno na área muito diversificado.

Os dados geológicos foram obtidos do mapa geológico da CPRM. Na região afloram rochas de natureza ígnea, sedimentar e metamórfica, além de existirem depósitos aluvionares e coluvionares, oriundos do intemperismo destas rochas (Figura 17).

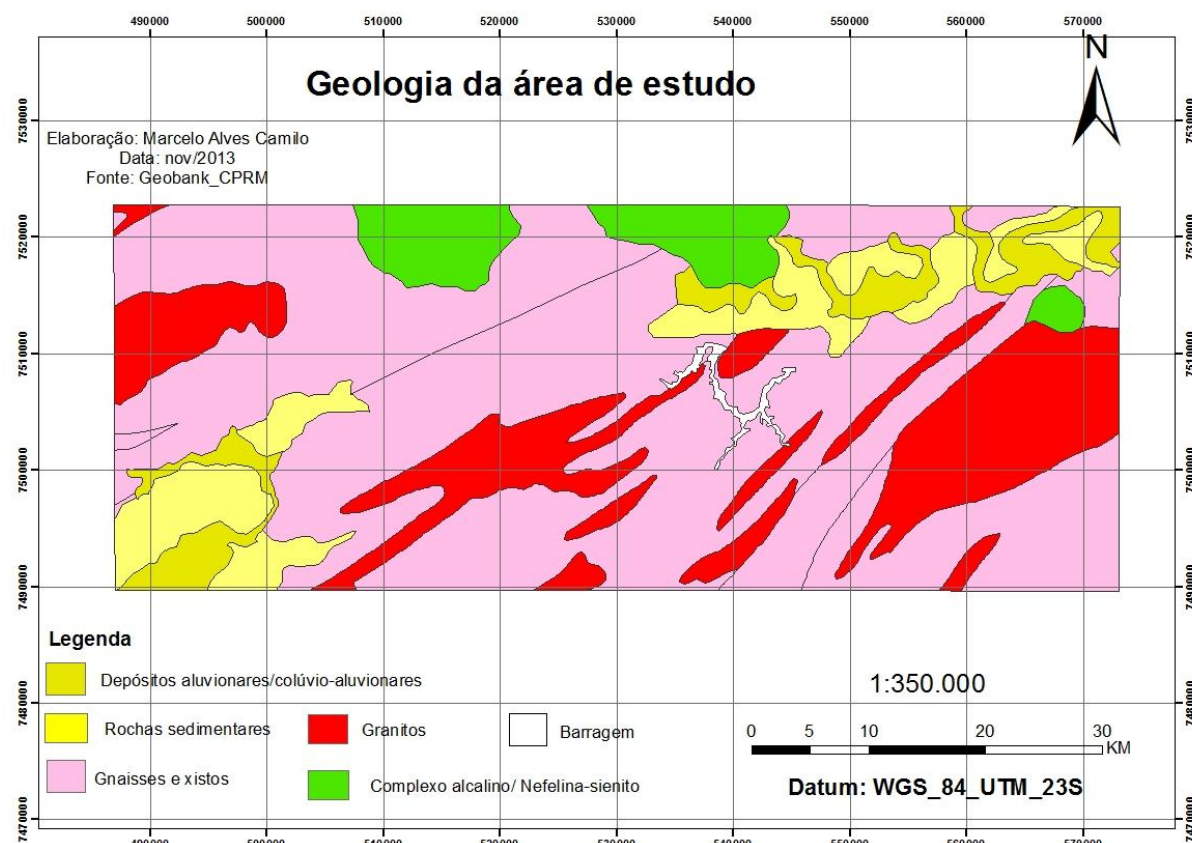


Figura 17: Mapa Geológico da área de estudo.

A partir deste mapa foi construído outro reclassificado, utilizando a ferramenta *Spatial Analyst>Reclass> Reclassify*, da mesma forma que para o mapa de altimetria. Os pesos para cada tipo de rocha se relacionam com o tipo de material que as compõe, os quais vão influenciar mais ou menos na ocorrência de movimentos gravitacionais de massa (Figura 18). O produto desta operação foi utilizado na construção do mapa de suscetibilidade.

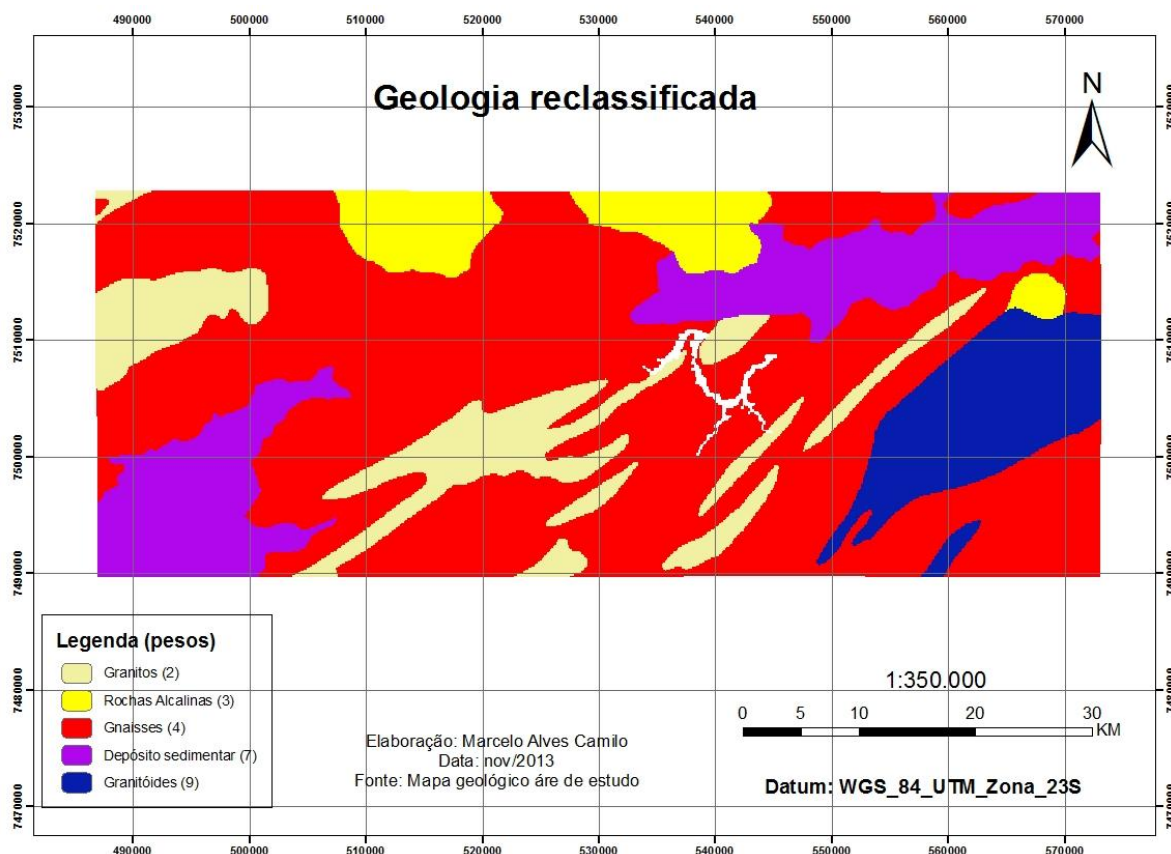


Figura 18: Mapa Geológico reclassificado da área de estudo.

6.3 Declividade

Os dados de declividade foram obtidos por meio da ferramenta *Spatial Analyst*> *Surface*> *Slope*, utilizando o MDT do Topodata. No mapa abaixo, observa-se que as maiores declividades estão relacionadas com as maiores altitudes de terreno, ou seja, com as serras da área.

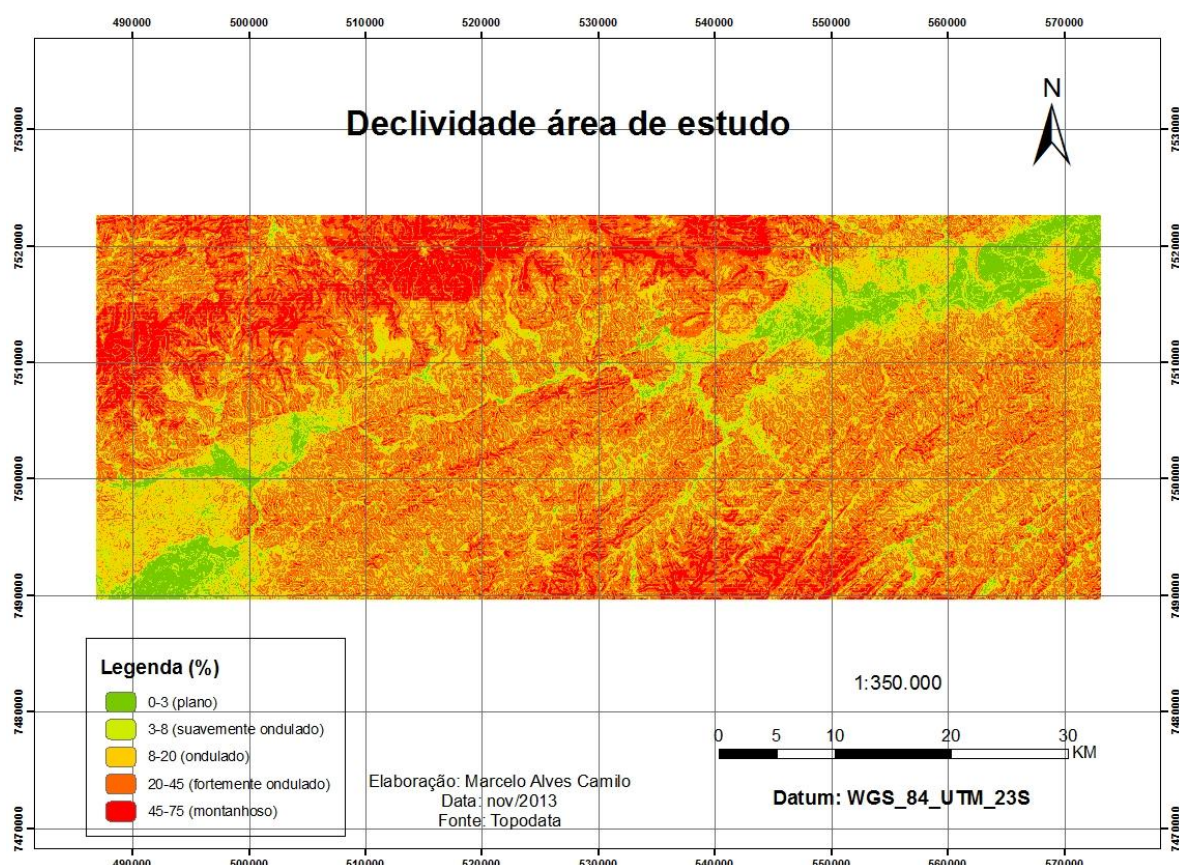


Figura 19: Mapa de declividade.

Nota-se, ainda, que o terreno como um todo é bem acidentado, contudo, na região do Vale do Rio Paraíba do Sul ele é mais suave.

6.4 Bacia Hidrográfica

As bacias da área foram construídas através da ferramenta *Hidrology*, que permitiu a sua delimitação. Conforme citado no início do presente trabalho, os MGM no território nacional estão ligados principalmente à época de maior precipitação, que leva ao aumento da vazão dos rios, o que motivou à geração do mapa de bacia abaixo para observar esta influência. Este mapa também foi utilizado na construção do mapa de suscetibilidade.

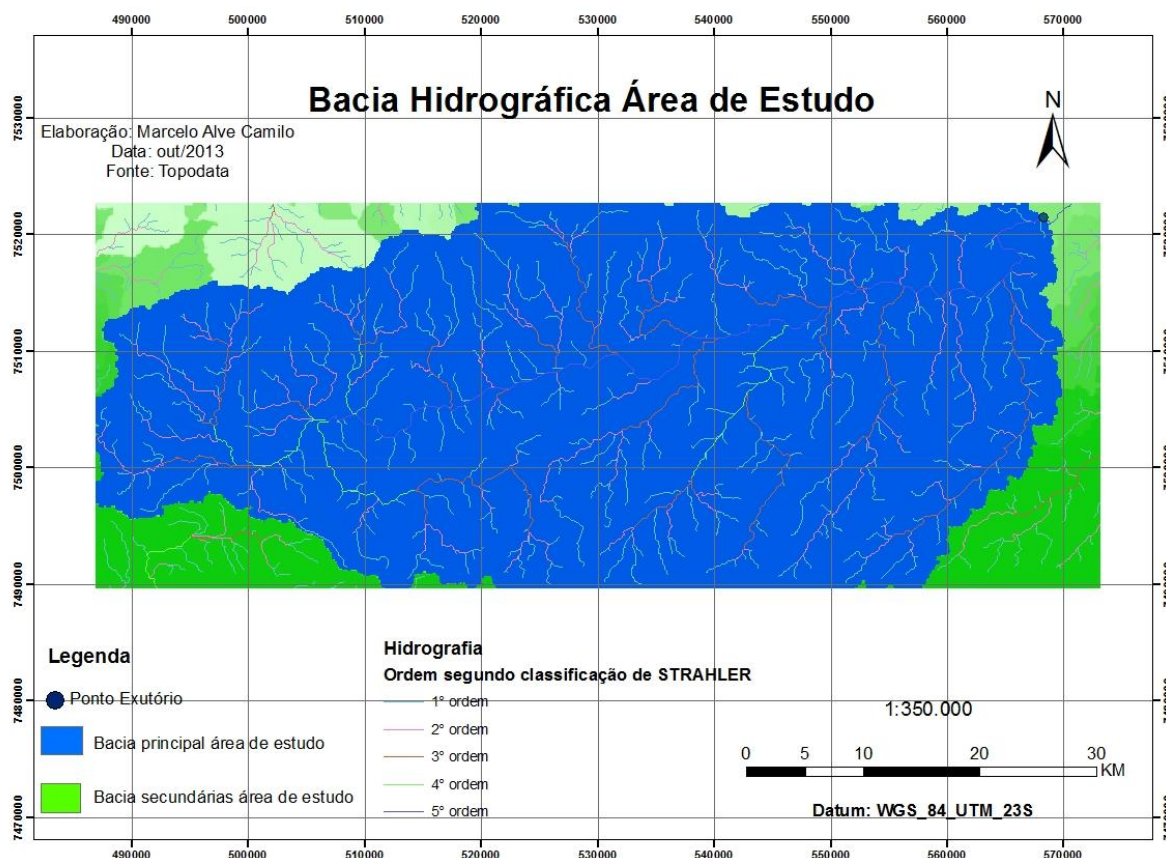


Figura 20: Mapa das principais bacias da região de estudo.

6.5 Mapa de Suscetibilidade e de Favorabilidade

Por fim, foram gerados os mapas de suscetibilidade e de favorabilidade. O mapa de suscetibilidade a MGM foi obtido após o cálculo feito por meio da ferramenta *Raster Calculator*. O mapa identifica de maneira qualitativa as áreas com maior ou menor chance de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa. Por meio dele é observado que as áreas mais suscetíveis a MGM são aquelas localizadas na porção da área na qual se encontram as serras, e na parte limítrofe a elas, conhecida como mar de morros.

O cálculo foi feito de forma que somente a bacia hidrográfica principal fosse avaliada, deixando as secundárias fora da análise. Nele também é possível notar que o traçado do TAV passa pelas regiões de baixa a média suscetibilidade, demonstrando que a escolha por este trajeto foi adequada. A figura 21 apresenta este mapa (Anexo A).

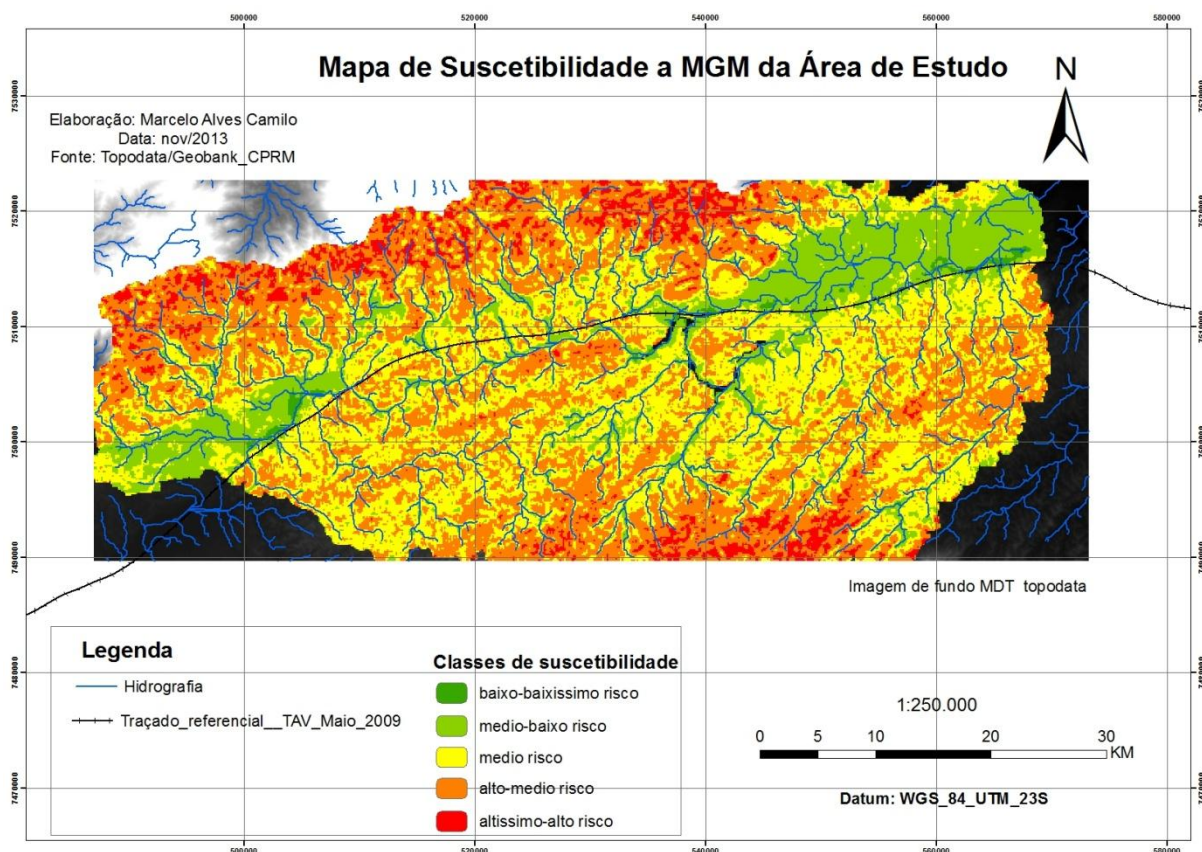


Figura 21: Mapa de suscetibilidade da área de estudo.

Já o mapa de favorabilidade, na figura 22 (Anexo B), é um mapa feito para auxiliar na observação das regiões mais indicadas para a instalação de um empreendimento. No presente caso este mapa foi gerado a partir da reclassificação do mapa de suscetibilidade, onde as áreas de maior risco a ocorrer MGM são aquelas não favoráveis à construção da ferrovia e aquelas com menor risco são mais favoráveis. Observa-se, novamente, que o traçado corta uma área favorável a instalação do empreendimento, mostrando que a sua escolha foi adequada.

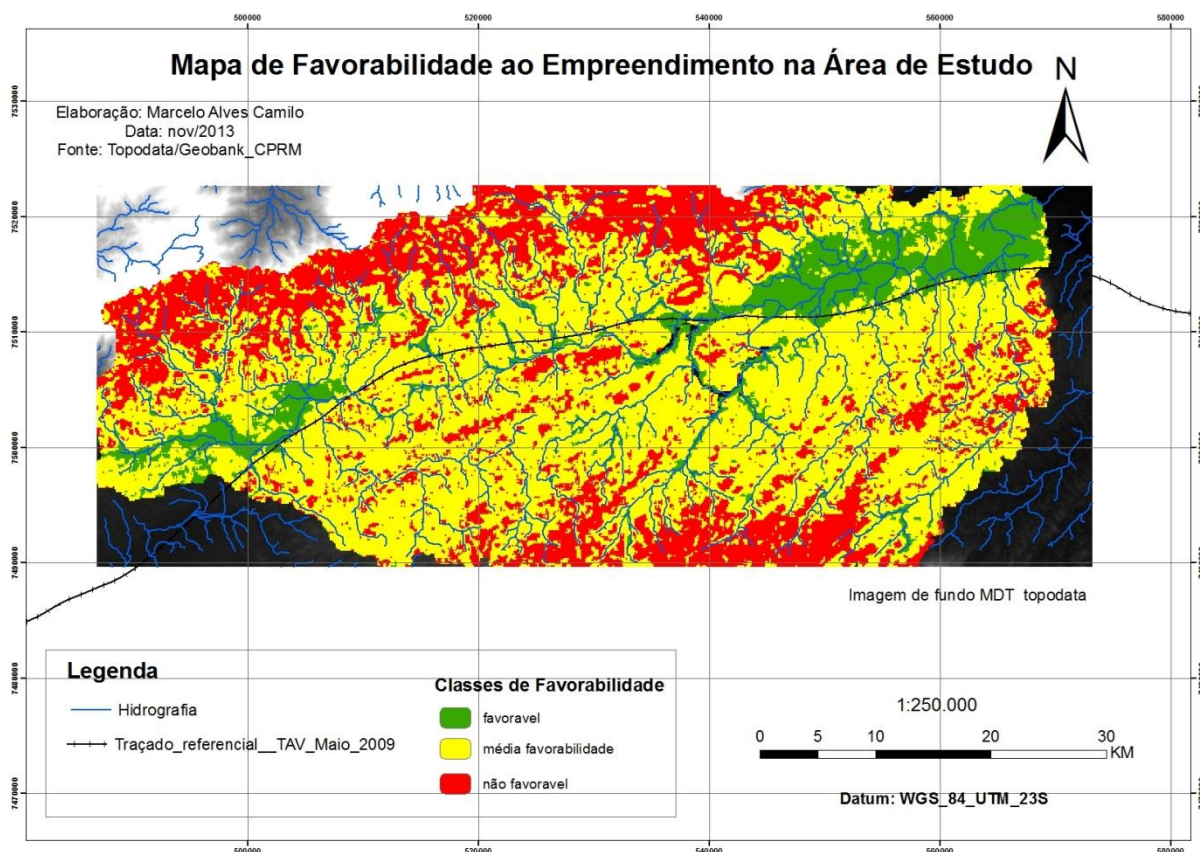


Figura 22: Mapa de favorabilidade a instalação do empreendimento.

Sendo assim, o método utilizado para a obtenção de um mapa de suscetibilidade a movimento gravitacional de massa foi satisfatório, pois permitiu o reconhecimento das áreas de maior e de menor suscetibilidade a MGM para uma escala regional.

7. Conclusão

O presente trabalho resultou em um entendimento melhor dos movimentos gravitacionais de massa ao longo do trecho TAV, entre os municípios de Cachoeira Paulista no estado de São Paulo e de Resende no Rio de Janeiro.

O entendimento dos processos do meio-físico, compostos pelo relevo, rede hidrográfica, pela geologia e a intervenção antrópica sobre eles é o objeto de estudo da cartografia geotécnica, com a finalidade de dar um direcionamento ao uso do solo de modo a evitar riscos às populações e prejuízos econômicos.

Assim, as ocupações dentro do território brasileiro devem ser feitas de maneira adequada, em concordância com a Lei 12.608, de abril de 2012, para minimizar e se possível extinguir os riscos geológicos - geotécnicos provenientes das atividades humanas.

A utilização do MDT foi de muita importância para se entender os riscos na área do trabalho, a sua resolução de 30m, feita através de interpolação, tornou possível a sua utilização para a escala pretendida. As ferramentas de SIG foram muito eficientes para este tipo de processamento mostrando que devem ser cada vez mais usadas na cartografia geotécnica.

Sobre o perigo de movimentos gravitacionais de massa na área de estudo, pode-se concluir que como esperado, as regiões mais suscetíveis a ocorrência de MGM são aquelas localizadas em áreas menos aplainadas, neste caso as regiões das Serras da Mantiqueira e da Bocaina e também a conhecida como Mar de Morros, mas essa com menor suscetibilidade do que as demais. A porção no qual está inserido o traçado do TAV possui uma variação em relação à suscetibilidade de baixa até média, portanto em alguns pontos deverão ser tomadas maiores precauções do que em outros. Outro fator a ser considerado são as chuvas, porque em condições de precipitações extremas pode haver mudanças neste quadro.

Em razão do acima exposto, medidas para minimizar ao máximo os riscos deverão ser tomadas para precaver possíveis MGM. Mas, se estes vierem a ocorrer, a ação das unidades governamentais (corpo de bombeiros, defesa civil, polícia etc) deve ser rápida e eficiente, para minimizar ao máximo as perdas materiais e humanas.

8. Referência Bibliográfica

ALMEIDA, JÚLIA PERA DE. **Avaliação de perigo de movimentos gravitacionais de massa no município de Itatiaia (RJ) por meio de inventário de cicatrizes gerado com a utilização de imagens ADS-80**. 2013. 112p. Dissertação (mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

AYALA-CARCEDO F.J., DOMÍNGUEZ M.J., CUBILLO NIELSEN S., ALVAREZ A., LAÍN L., GONZÁLEZ A., LAÍN R., ORTIZ G. 2003. **Mapa de susceptibilidad al alcance por desprendimientos rocosos graníticos**. Sistema central español, Sierra de La Cabrera (Madrid), escala 1: 5.000. In: F. J. Ayala-Carcedo & J. Corominas (eds.) Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas de SIG, 6, Instituto Geológico y Minero de España, p.;97-117.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Mapeamento geológico-geotécnico e delimitação das áreas de rico geológico ao longo do traçado da via do trem de alta velocidade – TAV – Etapa I**, Rio de Janeiro, 2009. 205p.

CRUDEN, D.M.; VARNES, D.J. Landslide types and processes. In: TURNER, A.K.; SCHUSTER, R.L. (Eds.). **Landslides – Investigation and mitigation**. Transportation Research Board, Special report n°247, National Research Council. Washington D.C.: National Academy Press, 1996. cap 3.

DINIZ, N.C. 2009. **Relatório Técnico final para prestação de serviços de consultoria geológico-geotécnica ao Projeto Trem de Alta Velocidade Rio de Janeiro – São Paulo – Campinas**. A Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT, 65p.

DINIZ N.C. Cartografia geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, Cidade, v. 2, n. 2, p. 29-77, 2012.

DINIZ, N.C. **Automação da cartografia geotécnica: uma ferramenta de estudos e projetos para avaliação ambiental**. 1998. 2v. Tese (Doutorado) – Departamento de Transportes, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 1998.

HIGHLAND, L.M.; BOBROWSKY, P. **The landslide handbook – A guide to understanding landslides**. Reston, Virginia: U.S Geological Survey Circular 1325, 2008. 129p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Introdução ao processamento digital de imagens**. Manuais técnicos em geociências, nº9 – Rio de Janeiro. 1999, p.: 18-68.

IG-UnB. 2010. Glossário de geologia. Disponível em: <http://e-groups.unb.br/ig/glossario/index.html>. Acessado em 26/06/2013.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Fundamentos de geoprocessamento: teórica. 2007. **Apostila do Curso de Fundamentos de Geoprocessamento**. São José dos Campos, SP.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. 1981. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. Vol 1. 94p.

IRIGARAY, C.; CHACÓN, J. Método de análisis de La susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante SIG. In: Ayala- Carcedo, F.J.;COROMINAS, J.(Eds.) **Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera com técnica de SIG**, 2. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2002. p. 21-36.

JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineering Slopes. Guidelines for Landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. **Engineering Geology**, New York, v. 102, 3-4: 85-98, 2008.

JENSEN J. R. 2009. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução da segunda edição por J. C. N. Epiphanyo (coordenador)...[et al.]. 11. São José dos Campos – SP. Editora Parêntese. 598 pp.

MANDAI, P. R. **Avaliação da Aptidão Urbana com Uso de Inferência Fuzzy em dados Geomorfométricos: Subsídios para o Planejamento Físico-Territorial no entorno do Anel Viário do DF**. 2012. 175 p. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MENDONÇA, F. B. **Análise de suscetibilidade, perigo e risco de movimentos gravitacionais de massa, por meio de inventário de cicatrizes de deslizamentos em trecho do trem de alta velocidade brasileiro**. 2012. 191 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MENESES, P.R., ALMEIDA T. (Organizadores) **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. e-book. CNPQ- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 2012.

PENALVA, F. **Geologia da região do Itatiaia (sudeste do Brasil): Morfologia e Tectônica**. 1963. 66p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1963.

SOETERS, R.; VAN WESTEN, C.J. **Slope stability: recognition, analysis and zonation**. In: TURNER, A.K.; SCHUSTER, R.L. (Eds.) **Landslide – Investigation and mitigation**. Transportation Research Board, Special report n°247, National Research Council, Washington D.C.: National Academy Press, 1996. Cap. 8.

VALLEJO, L.I.G.; FERRER, M. **Landslides and other mass movements**. In: VALLEJO, L.I.G.; FERRER M. (Eds.) **Geological Engineering**. Londres: CRC Press/Balkema, 2011. Cap. 13.

PRESS F., SIEVER R., GROETZINGER J, JORDAN T. H. 2006. **Dispersão de massa. Para entender a terra**, cap. 12, Editora Artmed, p.: 291-302.

USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. 2011^a. **Landslide types and processes**. Disponível em: <http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/pdf/fs2004-3072.pdf>. Acessado em 13/10/13.

ANEXO A

ANEXO B